
22101155272

NOTICE

SUR LES

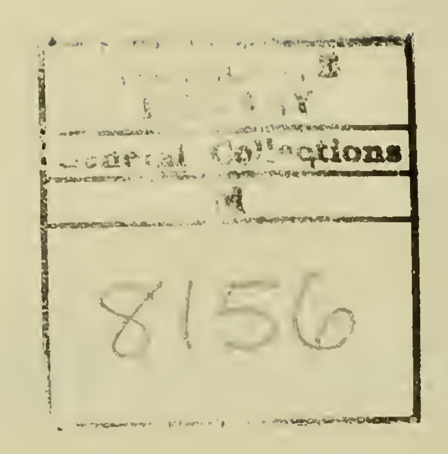
TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ÉDOUARD BRANLY.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1908


General Collections
8156

TITRES DIVERS.

1865. Élève de l'École Normale supérieure.

1867. Licencié ès Sciences mathématiques. Licencié ès Sciences physiques.

1868. Agrégé de l'Université (Sciences physiques et naturelles). Professeur au Lycée de Bourges.

1869. Chef des travaux, puis Directeur adjoint du Laboratoire d'Enseignement de la Physique à la Sorbonne.

1873. Docteur ès Sciences physiques (thèse sur les phénomènes électrostatiques dans les piles).

1876. Chargé d'un Cours de Physique à l'Institut catholique de Paris.

1882. Docteur en Médecine (thèse sur le dosage de l'hémoglobine dans le sang par les procédés optiques).

1898. Lauréat de l'Académie des Sciences (prix Houllevigue).

1900. Grand Prix à l'Exposition universelle de 1900 (section de l'Enseignement supérieur).

1900. Chevalier de la Légion d'honneur, avec la mention au *Journal officiel :* « A découvert le principe de la télégraphie sans fil ».

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Édouard BRANLY.

INTRODUCTION.

Ma première publication scientifique est de 1869. J'étais le collaborateur de M. P. Desains et nos observations simultanées à Lucerne et au Righi ont permis d'apprécier l'absorption exercée par la vapeur d'eau atmosphérique sur le rayonnement solaire.

Ma thèse de Doctorat ès Sciences, en 1873, a eu pour objet l'étude des phénomènes électrostatiques dans les piles, à circuit ouvert et à circuit fermé. C'était la première thèse française sur le potentiel électrique. A l'aide d'un électromètre à quadrants que j'ai construit et réduit à ses parties utiles pour mes mesures, j'ai vérifié commodément les résultats connus ou admis et j'ai fait valoir, par des exemples, l'avantage de la méthode électrométrique pour évaluer certaines résistances et la polarisation des électrodes.

En 1882, dans ma thèse de Doctorat en Médecine, sur le dosage de la matière colorante du sang par le spectrophotomètre, j'ai eu l'occasion de démontrer un fait nouveau : l'identité spectrale de la matière colorante du sang chez les divers Vertébrés.

Je me suis proposé en 1887 de perfectionner l'emploi du thermomultiplicateur en chaleur rayonnante. J'ai d'abord indiqué comment on peut obtenir une source de rayonnement très constante par un réglage spécial de la lumière du gaz d'éclairage; puis, par des dispositifs mécaniques qui limitaient d'une façon précise la durée du rayonnement incident, j'ai notable-

ment réduit le temps de refroidissement de la pile thermo-électrique. Mes dispositifs sont utilisables dans d'autres circonstances.

En 1889, la déperdition de l'électricité par des rayons lumineux très réfrangibles avait été l'objet de plusieurs recherches. On admettait que l'action ne s'adressait qu'à des corps chargés négativement. Mes expériences prouvent que, si la déperdition est moindre avec des corps positifs, elle est encore très nette. Il y a même des cas où la déperdition positive est la plus forte.

L'action observée avec la lumière violette m'a conduit à étudier l'action de la lumière du jour et de la lumière diffuse. Dans ce cas, la déperdition négative peut encore avoir lieu et même être rapide avec certains métaux : zinc, cadmium et surtout aluminium, s'ils sont très fraîchement polis. Un verre rouge foncé supprime toute déperdition par la lumière.

La déperdition à l'obscurité est extrêmement faible et la même pour les deux électricités avec les métaux usuels. J'ai vu deux échantillons de bismuth, de provenance ancienne, offrir à l'obscurité, pour les deux électricités, une déperdition notablement supérieure à celle des autres métaux. J'ai publié cette observation, en avril 1893, en l'attribuant à la *nature* du métal. Les nombreux échantillons de bismuth que je me suis ensuite procurés n'ont plus présenté la même particularité et j'ai dû me contenter d'avoir signalé le premier exemple d'un corps devant à sa substance la propriété de perdre de lui-même l'électricité.

On n'avait que peu d'observations sur la déperdition en présence des corps incandescents : flammes, plaques chauffées, fils rougis par le courant, etc. J'ai constaté que, si une forte incandescence provoque les deux déperditions sur un conducteur voisin, à un degré d'incandescence moindre, c'est la déperdition négative qui est la plus accentuée. Une étude très développée m'a fourni de nombreux résultats intéressants. En voici un : en 1892, alors qu'il n'était pas question d'ionisation, j'ai fait voir qu'il n'est pas nécessaire qu'un corps incandescent soit en présence du corps électrisé pour provoquer sa décharge. Cette décharge a encore lieu par les gaz qui ont été en contact avec le corps incandescent, alors que ces gaz sont projetés sur le corps électrisé et même refroidis par leur passage à travers un serpentin entouré d'eau froide et par leur mélange avec un gaz qui se détend. Enfin, si l'incandescence est telle que la déperdition soit unipolaire en face du corps incandescent (fil de platine faiblement rougi par un courant), il est remarquable que la déperdition reste encore unipolaire avec les gaz projetés et refroidis.

⁂

Mes recherches les plus étendues se rapportent aux radioconducteurs et, par eux, à la télégraphie sans fil.

Les corps conducteurs laissent passer l'électricité, les corps isolants l'arrêtent; j'ai fait connaître des corps à conductibilité intermittente, à volonté conducteurs ou isolants. Je les ai appelés *radioconducteurs,* parce que leur conductibilité s'établit sous l'influence du rayonnement électrique émis par une étincelle; une limaille métallique est le type le plus connu de radioconducteur.

Je rappelle mon expérience principale. Quand on réunit les deux pôles d'un élément de pile par une limaille métallique, comprise dans un tube de verre entre deux tiges conductrices, le courant de la pile est arrêté par la limaille; un galvanomètre qui fait partie du circuit reste à zéro. Si une étincelle de bouteille de Leyde vient à éclater quelque part, le galvanomètre est dévié et reste dévié. La limaille est devenue conductrice et sa conductibilité persiste. En frappant sur le tube à limaille ou sur son support, le circuit s'ouvre, la conductibilité de la limaille disparaît; une nouvelle étincelle à distance ferme le circuit, on l'ouvre par un nouveau choc et ainsi de suite.

Cette expérience, que j'ai présentée en 1890, donne le moyen de fermer un circuit à distance; elle a conduit à la télégraphie sans fil de ligne dont elle est en effet une image réduite. Au poste d'arrivée, un opérateur peut ramener par un choc la limaille à son état primitif. Une succession de fermetures par étincelles, à des intervalles convenus, constituera une dépêche. L'opérateur devient inutile si, par des dispositions familières aux électriciens, l'inscription du signal et le choc du radioconducteur sont réalisés successivement par le courant lui-même, après sa fermeture par une étincelle. Une nouvelle étincelle détermine ensuite un nouveau signal et un nouveau choc.

En 1890 et 1891, je ne me suis pas borné à cette expérience. Après avoir reconnu l'existence d'un grand nombre de radioconducteurs, j'ai fait voir que leur conductibilité par l'étincelle donnait le moyen de provoquer à distance un effet quelconque du courant; j'ai montré qu'une longue tige métallique, mise en contact avec l'excitateur à étincelles, remplaçait l'étincelle; elle agissait alors que l'étincelle était trop éloignée pour avoir une action directe (ces tiges métalliques ont été appelées *antennes* en télégraphie sans fil). L'effet de l'étincelle s'exerçait à travers les murs et lorsque

le radioconducteur était enfermé avec son circuit dans une caisse en bois ou en verre. L'action cessait si le radioconducteur se trouvait avec son circuit à l'intérieur d'une enceinte métallique. Mais, dans ce dernier cas, il suffisait de laisser sortir de l'enceinte un fil conducteur, isolé d'elle, mais en contact avec un point du circuit du radioconducteur, pour que l'action d'une antenne extérieure se produisît de nouveau. Je ne cite que quelques points de mes recherches.

Dès le début, j'ai attribué la conductibilité du tube à limaille aux courants oscillatoires très rapides que l'étincelle de décharge d'un condensateur fait naître dans des tiges métalliques; ces courants produisent à distance, dans le circuit du tube, des courants induits de grande force électromotrice qui traversent la limaille.

En définitive, non seulement mon étude des radioconducteurs en 1890 et 1891 a établi les bases d'un nouveau chapitre de la conductibilité électrique, mais la réalisation pratique de la télégraphie sans fil y a trouvé tous ses éléments essentiels ([1]).

Dans le résumé qui précède, il n'a pas été question d'ondes électriques, on n'a vu intervenir qu'une étincelle de condensateur et un radioconducteur. C'est que, de même que la lumière a été utilisée sans qu'on connût sa nature vibratoire, la télégraphie sans fil n'aurait eu besoin pour naître que d'un radioconducteur, jouant, par rapport à une étincelle, le rôle d'œil électrique. La télégraphie sans fil aurait pu précéder la télégraphie avec fil.

Toutefois, la remarquable démonstration que Hertz a donnée de la résonance électrique a puissamment aidé au développement de la télégraphie sans fil en introduisant l'idée de la syntonisation, c'est-à-dire de l'accord vibratoire des circuits des deux postes.

*
* *

La télémécanique sans fil a pour objet la commande d'effets quelconques à distance, sans fil de ligne. Elle exige une sécurité plus absolue que la télégraphie sans fil, car la non-réalisation ou la réalisation inopportune d'un effet peut entraîner de plus graves conséquences que l'absence ou l'addition

---

([1]) Ce fut la pensée de M. Marconi lorsque, après ses belles expériences de 1899, entre Douvres et Wimereux, il m'adressa le 29 mars la dépêche suivante :

« *M. Marconi envoie à M. Branly ses respectueux compliments par le télégraphe sans fil à travers la Manche, ce beau résultat étant dû en partie aux remarquables travaux de M. Branly.* »

d'un point dans une dépêche. J'ai cherché à organiser un système de commandes qui fût à l'abri des influences perturbatrices étrangères.

En premier lieu, supposant le poste récepteur hors de vue du poste transmetteur, j'ai proposé en 1905 d'établir une entente entre les deux postes à l'aide d'une télégraphie sans fil qui part automatiquement du poste récepteur; elle prévient le poste transmetteur du moment où peut avoir lieu chaque commande et confirme la réalisation de chaque effet. Les modèles de poste que j'ai construits à mon laboratoire sont en état de fonctionner à quelques kilomètres. Lorsque des effets, soit indépendants, soit solidaires les uns des autres, ont été préparés au poste récepteur, on les déclanche séparément du poste transmetteur, au moment propice; on les laisse persister individuellement autant qu'il convient, on contrôle de loin leur persistance à toute heure, on les suspend séparément à volonté. Il peut n'y avoir personne au poste récepteur.

Dans ces diverses opérations, aucune étincelle ne doit agir à contre-temps. Or la correspondance exclusive qu'on cherche à assurer entre deux postes par l'accord électrique ou syntonisation de leurs circuits est insuffisante; car, d'une part, une étincelle voisine très forte agit toujours; d'autre part, accidentellement ou par un jeu systématique, le courant oscillatoire des étincelles d'un exploseur peut être amené à la période commune aux deux circuits accordés et il y a encore action.

Pour obtenir une garantie certaine, j'ai construit et fait fonctionner deux dispositifs de sécurité. Ce sont : un interrupteur rotatif contre des étincelles accidentelles et un appareil à solénoïdes contre des étincelles prolongées.

Mes appareils sont indépendants de la syntonisation, mais ils n'ont pas pour but de la rendre superflue. On doit la rechercher : d'abord, parce qu'elle accroît la portée des communications, et ensuite, parce qu'elle réduit le nombre des étincelles étrangères qui actionnent les appareils de sécurité.

*
* *

J'avais constaté en 1890 que l'action d'une étincelle à distance était un cas particulier d'un phénomène plus général et que la conductibilité d'un radioconducteur était encore produite par le passage direct de courants de grande force électromotrice : courants continus, courants induits et surtout courants de décharges de condensateur. L'examen de ces différentes influences m'avait montré que les caractères de conductibilité restent indépendants du mode opératoire.

Depuis cette époque, je suis revenu sur des points particuliers des phénomènes que j'avais déjà observés, par exemple en décrivant des radioconducteurs sensibles ou intéressants : limailles d'or pur ou d'alliages d'or, colonnes de billes d'acier poli, feuilles métalliques minces collées sur verre, etc., ou en signalant des retours à la résistance sans choc, au moins partiels, paraissant spontanés.

Les radioconducteurs à contact unique, dont j'avais déjà fourni des exemples en 1891, m'ont conduit à un modèle dont j'ai fait connaître les avantages en 1902. C'est un trépied à pointes d'acier poli reposant sur un disque d'acier poli ; je l'ai utilisé dans mon récepteur simplifié de télégraphie sans fil et je l'ai perfectionné récemment pour faciliter son adoption dans des postes mobiles.

J'ai montré qu'au lieu de produire un accroissement de conductibilité, les mêmes influences étaient parfois susceptibles de produire un accroissement de résistance. J'ai précisé en 1891 et en 1900 des conditions qui entraînent, pour certaines substances, l'une ou l'autre des deux actions opposées.

Revenant en 1898 sur le rôle d'arrêt d'une enceinte métallique complètement fermée, j'ai signalé des précautions imprévues qui doivent être prises pour qu'une étincelle extérieure soit complètement sans action à l'intérieur. L'absorption par différents milieux et par les liquides a été l'objet de quelques-unes de mes expériences ; j'ai constaté en particulier qu'une épaisseur d'eau de mer de quelques centimètres suffit pour intercepter tout rayonnement électrique.

En partant de la théorie des neurones, il m'a semblé qu'on pouvait tenter l'assimilation de la conductibilité nerveuse à la conductibilité intermittente des radioconducteurs et essayer d'en déduire des conséquences thérapeutiques.

Mais, parmi les phénomènes qui se rattachent aux radioconducteurs, il en est un sur lequel j'ai appelé spécialement l'attention.

*
* *

Il s'agit d'une résistance offerte par le contact de certains métaux qui était restée ignorée et que j'ai trouvée en 1895.

Dans la somme des résistances des diverses parties d'un circuit, il n'a jamais été question de résistance au passage entre deux métaux. Cette résistance peut cependant être considérable, alors même que les surfaces de

contact sont larges, nettes et bien appliquées. Si cette résistance est si longtemps passée inaperçue, c'est qu'elle est négligeable ou nulle avec les conducteurs usuels des circuits électriques : cuivre, argent, zinc, maillechort. Il en est autrement avec d'autres conducteurs, surtout quand ils n'entrent pas dans la composition des circuits avec les métaux usuels. Parmi les métaux dont l'association donne lieu à de fortes résistances de contact, on peut citer le fer, le plomb, l'étain, le bismuth, l'aluminium. Leur résistance au contact se montre variable, et, si ces métaux spéciaux avaient été les conducteurs de la pratique électrique, l'étude des lois des courants aurait peut-être été très compliquée.

La résistance au contact de deux métaux paraissait au premier abord indépendante des radioconducteurs, mais elle y a été ramenée par deux caractères : elle augmente par le choc et diminue par l'étincelle.

On peut justifier le rapprochement en formant une colonne de disques d'aluminium ou d'acier, on l'intercale dans le circuit d'une pile en même temps qu'un fil de platine fin et court, ce fil ne rougissant pas. Lorsqu'on fait éclater une décharge de condensateur à distance, le fil rougit; l'incandescence disparaît par un choc sur la tête de la colonne, elle se reproduit à l'occasion d'une nouvelle étincelle. En formant un circuit qui comprend simplement un élément Leclanché, une colonne de disques et un téléphone, on peut arriver à recevoir au son une dépèche transmise par étincelles.

A la sensibilité près, ces colonnes de disques se comportent comme des tubes à limaille. Leur défaut de sensibilité tient à ce que, en raison de la grande surface des disques, la densité des courants oscillatoires qui traversent la colonne par l'influence d'une étincelle est beaucoup plus faible qu'avec un tube à limaille.

*
* *

Dans l'analyse de mes travaux qui va suivre, j'ai groupé le plus souvent les recherches relatives à un même sujet.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES.

PHÉNOMÈNES ÉLECTROSTATIQUES DANS LES PILES.

Mesure de la polarisation dans l'élément voltaïque (*C. R. Ac. Sc.*, 19 février 1872). — **Mesure de l'intensité des courants au moyen de l'électromètre** (*C. R. Ac. Sc.*, 12 août 1872). — **Étude des phénomènes électrostatiques dans les piles** (*Ann. Éc. Norm. sup.*, 2e série, t. II, 1873, p. 211). — **Évaluation, en unités mécaniques, de la quantité d'électricité que produit un élément de pile** (*C. R. Ac. Sc.*, 15 décembre 1873).

J'ai mesuré les charges électrostatiques que Volta avait le premier observées, aux deux pôles d'une pile à circuit ouvert, et sur le trajet des conducteurs interpolaires à circuit fermé. Mon travail avait de l'actualité en 1873, en raison de la nouveauté de l'application au courant électrique de la théorie électrostatique du potentiel.

L'appareil qui avait été employé jusque-là pour la mesure des charges électrostatiques était la balance de Coulomb ; elle inspirait confiance, elle m'a servi pour les comparaisons. Je l'ai munie d'un miroir sur le prolongement de son fil de torsion et j'ai opéré par réflexion, en ne faisant varier que peu la distance de la balle mobile à la balle fixe.

Avec 100, 200, 250 éléments zinc, cuivre et eau, associés en série, j'ai d'abord vérifié que la différence de potentiel aux deux pôles d'une pile était proportionnelle au nombre des éléments. Cette proportionnalité était admise, mais la vérification directe, sans condensateur, n'avait pas été faite. En partant de mes mesures, je pouvais calculer la valeur absolue, en unités électrostatiques, de la différence de potentiel aux deux pôles d'un seul élément, zinc, cuivre et eau.

La valeur de cette différence de potentiel, calculée avec les données de la répulsion que j'avais observée entre les deux balles de la balance de Coulomb, diffère peu de la valeur trouvée par Thomson avec son électromètre absolu.

En chargeant une sphère avec une pile et en la déchargeant, plusieurs fois de suite, puis en faisant passer le courant de la décharge dans un galvanomètre, je m'étais proposé d'évaluer la quantité d'électricité transportée en une seconde dans le circuit d'une pile qui produit un courant

d'intensité connue. Sur ce point, mes expériences n'ont été qu'ébauchées; elles auraient d'ailleurs exigé des appareils plus perfectionnés que ceux dont je disposais. Je ne les ai pas poursuivies.

La balance de Coulomb, précieuse pour les mesures absolues, présente des difficultés d'emploi, et elle est peu sensible. Il en est de même de la balance de Hankel, à quatre boules fixes occupant les sommets d'un rectangle et agissant sur deux boules mobiles. Pour les mesures relatives, on avait augmenté la sensibilité en faisant agir, à petite distance, des plaques fixes sur une plaque mobile, comme dans l'électromètre de Dellmann, l'électromètre de Hankel et l'électromètre à boîtes cylindriques de Thomson. Dans les deux derniers, les plaques métalliques fixes recevaient une forte charge d'une source extérieure et les déviations étaient ainsi notablement accrues. Pour les déterminations que j'avais en vue, j'ai adopté la disposition en secteurs de Thomson, en apportant à la construction de grandes simplifications.

Mon appareil comprend une plaque en aluminium, mobile horizontalement au-dessus ou au-dessous de quatre secteurs plans, formant les quadrants d'un même cercle et reliés deux à deux en diagonale. Le centre de la plaque mobile et le centre du cercle sont sur une même verticale. La plaque mobile a son grand axe parallèle à la ligne de séparation de deux secteurs voisins; elle est soutenue par un fil métallique de torsion qui lui communique la charge constante du pôle positif d'une pile de 100 petits éléments zinc, platine et eau, dont le pôle négatif va au sol. Le fil de torsion est commandé par un bouton qui permet d'amener la plaque dans la position de symétrie par rapport aux secteurs plans.

Pour mesurer la différence de potentiel entre A et B, A et B étant par exemple les pôles d'une pile, on relie A aux secteurs 1 et 3 qui prennent le potentiel de A, puis B aux secteurs 2 et 4 qui prennent le potentiel de B. La plaque mobile est attirée par l'un des couples de secteurs et repoussée par l'autre. Pour une certaine déviation, il y a équilibre entre la torsion du fil et l'action sur la plaque mobile. L'angle de déviation se mesure par réflexion.

On modifie la sensibilité de l'instrument en changeant le fil de torsion, en élevant ou abaissant la plaque mobile, en faisant varier sa charge.

Pour faire usage de cet appareil avec sûreté, après avoir amené la plaque mobile dans la position de symétrie, j'ai constaté que la déviation, tant qu'elle reste très petite, est proportionnelle à la fois à la charge de la plaque mobile et au nombre des éléments de la pile qui a pour pôles A et B. J'ai

vérifié, d'ailleurs, que les déviations de l'électromètre étaient, dans différentes conditions de sensibilité, proportionnelles aux indications de la balance de Coulomb et aux différences de potentiel.

Piles à circuit ouvert. — Les différences de potentiel aux deux pôles des éléments de pile ayant été reconnues par divers physiciens proportionnelles aux forces électromotrices, je me suis servi de l'électromètre à quadrants pour mesurer les forces électromotrices des éléments usuels. La vérification de certaines relations entre les forces électromotrices de différents éléments était intéressante en elle-même et elle contrôlait la régularité de la marche de l'instrument.

Par exemple, avec trois éléments à eau acidulée formés avec du zinc et du cuivre, du zinc et du fer, du fer et du cuivre, l'une des forces électromotrices est égale à la somme des deux autres. Les forces électromotrices varient un peu séparément quand on change pour tous la proportion d'acide, mais la loi de la somme se conserve. De même avec des solutions de potasse ; ici le changement de la proportion de potasse fait varier davantage les nombres individuels, mais la loi de la somme se conserve.

Citons encore une loi analogue à la précédente avec des éléments Daniell à sulfates de protoxydes, une loi de Péclet relative aux liquides, des mesures de forces électromotrices d'éléments à eau acidulée où l'un des métaux est du zinc, tandis que l'autre est du cuivre ou un alliage de cuivre.

Circuit fermé. — Après une vérification de la loi d'Ohm sur la proportionnalité des résistances aux différences de potentiel, j'emploie la méthode électrométrique pour mesurer la résistance des solutions salines en les intercalant, entre des électrodes de même métal que le sel, dans des auges prismatiques allongées.

J'applique encore la méthode électrométrique à la mesure de la résistance intérieure d'une pile, à la mesure de la résistance d'une cloison poreuse et des variations de cette résistance. J'obtiens ces résistances par différence ; je m'appuie sur ce fait expérimental que la différence de potentiel aux deux pôles de la pile ouverte est constamment égale à la somme des différences partielles dans un circuit fermé, malgré les variations relatives des résistances.

Je fais voir par des exemples comment l'usage d'un électromètre est précieux pour la mesure exacte des forces électromotrices de polarisation. Employant, soit des voltamètres ayant la forme de prismes allongés,

soit des éléments de pile à un liquide, de même forme, je mesure la force électromotrice de polarisation dans le voltamètre en faisant varier l'intensité du courant, et aussi la force électromotrice de polarisation dans l'élément lui-même, pendant son fonctionnement.

RAYONNEMENT CALORIFIQUE.

Sur l'emploi du gaz d'éclairage comme source constante dans les expériences de rayonnement (*C. R. Ac. Sc.*, 21 mars 1887). — **Nouveau mode d'emploi du thermomultiplicateur** (*C. R. Ac. Sc.*, 12 avril 1887).

A l'occasion de recherches de rayonnement calorifique que j'avais entreprises, je m'étais proposé de remédier aux imperfections de l'emploi du thermomultiplicateur. En raison des incertitudes qui provenaient de la méthode des impulsions, de l'échauffement de la pile, des irrégularités de la source, chaque mesure prise isolément ne représentait réellement pas, à $\frac{1}{20}$ près, la grandeur à mesurer.

On savait que la lampe modérateur est une source régulière de rayonnement calorifique. A l'aide de mesures effectuées avec un galvanomètre à miroir, j'ai reconnu que, bien employée, cette lampe reste très constante pendant 3 ou 4 heures, mais son entretien et son usage exigent des soins minutieux. J'ai trouvé plus pratique de régler un bec à gaz d'éclairage.

Emploi d'un bec à gaz réglé. — J'ai maintenu constante la pression du gaz avec un robinet à pointeau. La constance était observée sur un manomètre métallique très sensible que j'avais construit pour cet usage. C'était une boîte plate, à large surface cannelée, au centre de laquelle était fixé un système articulé analogue à celui du tambour de Marey. En soulevant la surface cannelée, le gaz pousse un levier en aluminium qui porte un miroir concave. En opérant par réflexion, une variation de pression de 1^{mm} d'eau correspond à une course de 25^{mm}. On arrive aisément à limiter avec un diaphragme une région de la flamme, telle qu'une variation sensible du manomètre ne produise qu'une très petite variation au galvanomètre.

En opérant ainsi, j'obtenais pendant 3 ou 4 heures consécutives des périodes de mesures très constantes. Quand on faisait varier la pression du gaz, une même impulsion au galvanomètre répondait exactement à une même pression.

Le gaz employé était celui de la Compagnie parisienne, tel qu'il sortait des conduites. Un bec ainsi réglé est également une source de lumière constante. Mon procédé peut être appliqué à l'examen du pouvoir éclairant du gaz.

Incertitudes de la règle des impulsions. — Afin d'obtenir une précision rigoureuse, j'employais par réflexion une règle circulaire de $0^{m},50$ de rayon, divisée en millimètres; le centre de la circonférence était sur le fil de cocon du galvanomètre. Le galvanomètre et sa règle étaient enfermés dans une cage en bois à plafond de verre, l'oculaire de la lunette sortait seul de la cage.

Avec des galvanomètres de Nobili, les impulsions furent constamment trop fortes d'un côté de l'équilibre et trop faibles de l'autre. Elles duraient environ 30 secondes et il fallait espacer les mesures de 5 en 5 minutes pour un retour complet à l'équilibre. Les galvanomètres à amortissement et à aiguilles Siemens en forme de cloche m'ont paru susceptibles d'une plus grande régularité, mais l'amortissement ne permettait pas d'observer nettement une impulsion. Pour mettre à profit leurs avantages, j'ai limité la durée du rayonnement.

Limitation de la durée du rayonnement. — La chute d'un écran en aluminium laisse passer le rayonnement de la source, la chute d'un second écran l'intercepte après 15 secondes, le jeu des écrans est réglé par des contacts électriques et une horloge. Le temps qui sépare la chute des deux écrans est constant à $\frac{1}{50}$ de seconde environ.

On a alors une impulsion nette au galvanomètre à amortissement; en outre, le refroidissement de la pile est plus rapide. L'intervalle de deux observations est réduit à 3 minutes. La proportionnalité entre les quantités de chaleur et les nouvelles impulsions est presque rigoureuse.

J'ai obtenu, plus tard, une proportionnalité rigoureuse en réduisant à 7 secondes la durée du rayonnement; l'intervalle de deux observations ne dépassait plus guère 1 minute. Ces derniers résultats n'ont pas été publiés.

Quand la durée du rayonnement a été diminuée, l'impulsion est restée notablement plus forte que si elle avait été réduite proportionnellement.

DÉPERDITION ÉLECTRIQUE A LA LUMIÈRE.

Déperdition des deux électricités dans l'éclairement par des radiations très réfrangibles (*C. R. Acad. Sc.*, 8 avril 1890). — **Courants photo-électriques entre les deux plateaux d'un condensateur** (*C. R. Ac. Sc.*, 28 avril 1890). — **Expériences de déperdition électrique** (*Bull. Soc. fr. Phys.*, 3 juillet 1891). — **Déperdition des deux électricités par les rayons très réfrangibles** (*C. R. Ac. Sc.*, 11 janvier 1892). — **Sur la conductibilité électrique des gaz** (*Bull. Soc. fr. Phys.*, 20 mai 1892, p. 212 et 215). — **Sur la déperdition de l'électricité à la lumière diffuse et à l'obscurité** (*C. R. Ac. Sc.*, 10 avril 1893). — **Déperdition de l'électricité à la lumière du jour** (*Journ. Phys.*, juillet 1893). — **Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs** (*C. R. Ac. Sc.*, 20 mai 1892, 16 avril 1895).

En 1890, on savait que les radiations très réfrangibles d'un arc voltaïque déchargent les corps électrisés négativement; leur action avait paru nulle sur les corps électrisés positivement, et la déperdition admise était limitée à l'électricité négative.

Modes opératoires. — 1° On illuminait par l'arc voltaïque un disque métallique relié à un électroscope. Si le disque était électrisé négativement, les feuilles d'or de l'électroscope se rapprochaient vivement; l'illumination ne modifiait pas sensiblement la déperdition lente si le disque était positif.

2° On reliait aux deux pôles d'une pile les armatures d'un condensateur à air. Dans le circuit on intercalait un galvanomètre très sensible. Si l'armature négative du condensateur était éclairée par un arc voltaïque, un courant électrique mesurable traversait le galvanomètre comme si l'air interposé entre les armatures du condensateur était devenu conducteur.

J'ai repris successivement ces deux modes opératoires avec une source plus riche que l'arc voltaïque en radiations très réfrangibles. Une batterie de jarres électriques étant chargée avec une forte bobine d'induction, je faisais éclater la décharge entre les deux pointes d'un excitateur; ces pointes, en aluminium, étaient distantes de 3^{mm}. Pour la charge du disque et de l'électroscope ou pour la charge du condensateur à air, j'avais préparé une pile de 500 éléments (zinc, sulfate de zinc; platine, protosulfate de mercure). Les éléments, bien fermés, sont restés inaltérés pendant quatre années.

Les deux armatures du condensateur à air étaient distantes d'environ 1^{mm}, l'une des armatures était pleine, l'autre était percée de petits orifices à travers lesquels on faisait passer la lumière.

Résultats. — Les deux modes opératoires m'ont donné des résultats

concordants. La déperdition par les étincelles n'est pas unipolaire. — Avec la lumière des étincelles de décharge d'une batterie, la déperdition est notablement plus importante pour l'électricité négative, mais elle a lieu pour les deux électricités.

La déperdition positive semble exiger des radiations plus réfrangibles que la déperdition négative. En effet, c'est à une petite distance de la source que les deux déperditions sont le moins disproportionnées; la déperdition positive est plus réduite que la négative quand la distance augmente ou quand on interpose une lame de quartz; on peut penser que l'air et le quartz absorbent en plus grande proportion les radiations très réfrangibles de la déperdition positive. Les rayons de la déperdition positive étaient plus transmissibles à travers le spath fluor incolore et à travers le sel gemme qu'à travers le quartz.

Les gaz refoulés par l'étincelle ne venaient-ils pas agir à la façon des gaz d'une flamme et produire une même déperdition pour les deux électricités ? La déperdition positive n'était-elle pas souvent due aux gaz seuls, tandis que la déperdition négative résultait de l'action combinée des gaz et des radiations? C'était impossible, car dans la plupart des expériences, l'étincelle éclatait dans une boîte métallique et l'ouverture livrant passage au rayonnement était fermée par une plaque de quartz. J'ai éliminé d'ailleurs complètement l'action des gaz en faisant agir la lumière sur un disque électrisé enfermé dans une enceinte assez bien close pour qu'on pût y faire le vide. L'illumination seule agissait alors pour décharger un disque électrisé positivement.

Isolement des électroscopes. — Lorsque le disque éclairé était relié à un électroscope, l'image d'une des feuilles d'or se déplaçait sur les divisions d'un micromètre fixé dans l'oculaire d'un microscope et l'on notait avec un chronomètre le temps de chute entre deux voltages connus. Pour n'avoir pas à corriger la déperdition observée pendant l'illumination de la déperdition lente due à l'imperfection de l'isolement, il convenait de réduire le plus possible cette dernière.

Dans ce but, j'ai construit quatre électroscopes qui ne différaient que par la nature de l'isolant. La tige qui portait le disque se prolongeait à sa partie inférieure par une languette de laiton sur laquelle s'appliquait une feuille d'or; la tige était entourée dans sa partie moyenne par un isolant variable, soufre, paraffine, gomme laque, ébonite. Les électroscopes reçurent la même charge d'un des pôles d'une même pile. En 12 heures, le soufre

n'avait laissé perdre que le $\frac{1}{20}$ de la charge, la paraffine $\frac{1}{7}$; la gomme laque et l'ébonite avaient laissé presque entièrement perdre la charge en une heure. D'après ces essais, répétés plusieurs fois, j'ai définitivement adopté le soufre. Sa conservation n'exige aucune précaution spéciale.

Comparaison d'un arc voltaïque à électrodes de charbon et des étincelles entre pointes d'aluminium. — Avec l'arc voltaïque, à rayons moins réfrangibles, la déperdition positive est très faible et l'éloignement de l'arc réduit à peu près dans le même rapport les deux déperditions; l'interposition d'un quartz agit de même.

Avec les étincelles, la déperdition positive est plus forte qu'avec l'arc, mais l'éloignement et l'interposition d'un quartz affaiblissent plus la déperdition positive.

Influence de la charge. — La déperdition est d'autant plus rapide que le potentiel est plus élevé, quelle que soit l'espèce d'électricité. La rapidité de la déperdition décroît plus vite avec le potentiel pour l'électricité négative que pour la positive.

Déperdition à la lumière diffuse. — Des disques d'aluminium, de zinc, de cadmium, polis, directement exposés à la lumière du jour, ont une déperdition négative bien nette, surtout aux rayons solaires.

Les mêmes disques, vivement et fraîchement polis, présentent, à la lumière diffuse du jour, une déperdition négative qui est encore rapide. C'est avec l'aluminium que l'effet est le plus accentué. La lumière active était la lumière qui avait traversé les vitres d'une salle d'expériences. La déperdition est très ralentie si le disque est recouvert par une cage de verre jaune, elle cesse sous une cage de verre rouge foncé.

La déperdition diminue notablement à mesure qu'on s'éloigne du moment où le poli a été effectué. La déperdition est très lente, indépendante de la nature du métal et de son degré de poli, si le poli n'est pas récent.

Variantes du mode opératoire. — J'ai présenté sous diverses formes le phénomène de la déperdition par la lumière. Je cite une des plus simples.

En face de la boule d'un électroscope chargé positivement, on dispose un disque d'aluminium communiquant avec le sol et fraîchement poli. On illumine le disque, l'électroscope se décharge. Le mécanisme est le même que si le disque d'aluminium éclairé était chargé négativement. En effet, que le

disque d'aluminium soit relié à un électroscope négatif et se décharge directement, ou bien que le disque soit en face d'un conducteur positif et le décharge, dans les deux cas un flux d'électricité suit des lignes de force qui aboutissent à un disque négatif poli et éclairé.

Déperdition spéciale du bismuth à l'obscurité. — Des métaux, polis ou non, présentent à l'air libre, dans l'obscurité, pour les deux électricités, une déperdition extrêmement lente, indépendante de la lumière. Le bismuth fit exception. Placé dans les mêmes conditions que les autres métaux, il accusa une déperdition beaucoup plus importante, quels que fussent l'âge et le degré du poli; cette déperdition était la même pour les deux électricités.

Au moment où j'ai publié ces expériences, en avril 1893, sur cinq disques de bismuth dont je disposais, deux seulement offraient cette déperdition. Aucun des nombreux échantillons que je me suis ensuite procurés ne reproduisit cette déperdition. Les deux disques actifs avaient été achetés 50 ans auparavant; de plus, ils avaient probablement une provenance que je n'ai plus rencontrée. J'avais attaché beaucoup d'importance à ce fait nouveau, je l'avais publié en regrettant de le voir aussi restreint et ma conclusion était la suivante : « *Quelles que soient les recherches à faire pour connaître la cause de cette particularité, l'existence d'une influence spéciale de la nature de la surface sur la déperdition de l'électricité, même dans l'obscurité, est démontrée.* »

Illumination de corps médiocrement conducteurs. — Sur des disques de bois ou de marbre polis ou non polis, sur des disques de carton, de terre cuite, de verre chauffé à 100°, la déperdition négative est la plus rapide. La déperdition positive est au contraire plus rapide sur du bois verni ou légèrement frotté avec de l'huile, du suif ou de la paraffine, sur des disques métalliques suifés.

DÉPERDITION ÉLECTRIQUE PAR UNE SOURCE INCANDESCENTE.

Nouvelle conductibilité unipolaire des gaz (*C. R. Ac. Sc.*, 4 avril 1892). — **Sur la conductibilité d'un gaz compris entre un métal froid et un corps incandescent** (*C. R. Ac. Sc.*, 27 juin 1892). — **Sur la conductibilité électrique des gaz** (*Bull. Soc. fr. Phys.*, avril-novembre 1892). — **Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs** (*C. R. Ac. Sc.*, 16 avril 1895). — **Sur la propriété de décharger des corps électrisés, produite dans les gaz par les corps incandescents et par les étincelles électriques** (*C. R. Ac. Sc.*, 26 octobre 1896).

Déperdition par les gaz des étincelles. — On savait que les gaz d'une flamme déchargent les corps électrisés, il devait en être de même pour les gaz qui entourent les étincelles électriques. Je l'ai reconnu en faisant éclater des étincelles au-dessous d'un tube coudé; les étincelles n'éclairaient plus le disque électrisé, les gaz étaient dirigés sur le disque par une aspiration due à un vif courant d'air. On constatait que le courant d'air seul ne produisait aucune déperdition, mais il donnait lieu à une déperdition rapide quand il était mêlé aux gaz entraînés de l'étincelle et cette déperdition était la même pour les deux électricités. Le disque électrisé avait été fixé sur le bouton d'un électroscope à isolant de soufre; la déperdition spontanée de l'électroscope ainsi isolé était absolument nulle pendant la durée des expériences.

Déperdition par les mêmes gaz refroidis. — En assujettissant le tube d'aspiration à la partie supérieure d'un long serpentin en cuivre entouré d'eau et en faisant éclater les étincelles au-dessous d'un entonnoir fixé au bas du serpentin, les gaz aspirés et projetés sur le disque y arrivent froids. Je faisais remarquer que, d'après cela, ce n'était pas à la température élevée des gaz qu'il convenait d'attribuer leur action.

Déperdition par les gaz qui environnent un corps incandescent. — Je n'ai constaté aucune trace de déperdition en projetant sur un disque électrisé un courant d'air ou d'hydrogène très fortement chauffé. Mais il y a déperdition si le courant de gaz lancé sur le disque a rencontré sur son trajet une surface portée au rouge.

Ainsi un fil de platine porté au rouge par un courant électrique provoque la déperdition d'un corps électrisé. On peut disposer le corps électrisé au-dessous du fil de platine rougi. La déperdition a encore lieu quand on a refroidi les gaz en les faisant passer dans le serpentin entouré d'eau et qu'on les projette sur un disque électrisé. Au fil de platine on peut substituer une lame de platine ou de tôle rendue incandescente par un chalumeau à gaz.

Déperdition unipolaire par un corps incandescent. — Les gaz des étincelles électriques, les gaz d'une bougie, d'une lampe à alcool, d'un bec Bunsen produisent les deux déperditions, soit quand ils agissent directement, soit quand ils sont aspirés et projetés.

Au-dessous du rouge vif, une plaque incandescente ou un fil de platine incandescent produisent surtout une déperdition négative.

Il est remarquable qu'on obtient encore la déperdition unipolaire en aspirant les gaz chauds qui entourent le fil de platine incandescent, en les refroidissant par leur passage à travers le serpentin entouré d'eau froide et en les projetant refroidis sur un disque électrisé. J'ai cité des nombres très démonstratifs.

Les deux déperditions croissent avec l'incandescence du fil; au rouge vif, elles tendent à devenir égales.

Par des expériences électrométriques très variées, j'ai rendu apparent pour les deux métaux en présence le mécanisme des passages électriques. Le corps incandescent est isolé et lui-même est mis en communication avec un électroscope qu'on peut charger. J'établis nettement le passage de l'électricité négative du corps froid au corps incandescent ou encore de l'électricité positive du corps incandescent au corps froid, ce qui revient au même. La conductibilité inverse est insensible tant que le corps incandescent est au rouge sombre. Le passage a lieu dans les deux sens lorsque le corps incandescent est porté au rouge vif.

La déperdition unipolaire peut changer de sens avec la nature du corps incandescent. — En assujettissant sur l'électroscope différents disques métalliques ou médiocrement conducteurs électrisés, la déperdition unipolaire ne m'a pas paru changer de sens avec la nature du disque froid. Mais elle a changé de sens avec certaines surfaces incandescentes.

Pour manifester rapidement le sens des déperditions, j'ai fait usage d'une lampe à gaz dont je remplaçais le verre par un tube de métal qui était de cette façon porté à l'incandescence. Avec le laiton, le cuivre rouge, le platine, la déperdition est négative; elle est positive avec le nickel. L'état physique du métal joue un rôle.

On a des déperditions analogues avec des corps incandesents non métalliques. Un conducteur négatif se décharge vivement quand on lui présente un tube de verre chauffé au rouge à l'une de ses extrémités (on a introduit dans l'axe du tube, jusqu'à 1^{cm} de l'extrémité rougie, un fil métallique qui laisse écouler l'électricité enlevée). Au contraire, au rouge sombre, un

morceau de charbon de bois soutenu par un fil métallique décharge rapidement un corps positif. Des enduits de métaux en poudre ou d'oxydes appliqués par fusion sur des tubes de verre portés au rouge donnent lieu à des déperditions tantôt positives, tantôt négatives.

Les expériences précédentes ont été effectuées par des procédés électrométriques. Ces procédés sont sensibles et commodes. Je les ai confirmées par quelques mesures galvanométriques.

Mesures galvanométriques. — Une couche d'air était interposée entre une plaque de platine rendue incandescente en son milieu et une plaque métallique maintenue froide. Les deux plaques, très larges, étaient réunies respectivement aux deux pôles d'une pile. Un galvanomètre très sensible faisait partie du circuit du condensateur à air. La couche d'air comprise entre les deux plaques laissait passer un courant lorsque le platine était porté au rouge. On obtenait une déviation fixe; elle était d'abord incomparablement plus forte lorsque la plaque froide était négative. La déviation augmentait avec l'incandescence et la conductibilité cessait en même temps d'être unipolaire.

Pour une distance des deux plaques de quelques millimètres, la pile employée était une pile de 250 éléments. En diminuant suffisamment la distance, j'ai pu réduire le nombre des éléments à 10.

Persistance de la conductibilité unipolaire pour de fortes différences de potentiel. — J'ai démontré cette persistance par la comparaison des distances explosives entre une lame de platine et deux sphères, quand le platine est ou n'est pas chauffé.

Les deux sphères étant les deux pôles d'une petite machine électrique en activité, la distance explosive était différente quand l'une des sphères était en face d'une partie incandescente du platine ou en face d'une partie non chauffée.

RADIOCONDUCTEURS.

PREMIÈRES RECHERCHES.

Variations de conductibilité sous différentes influences électriques (*C. R. Ac. Sc.*, 24 novembre 1890). — **Variations de conductibilité des substances isolantes** (*C. R. Ac. Sc.*, 12 janvier 1891). — **Variations de conductibilité des isolants sous diverses influences électriques** (*Soc. fr. Phys.*, 17 avril 1891; *Bull.*, p. 131 et 135-141). — **Expériences de conductibilité électrique** (*Bull. Soc. intern. Élect.*, t. VIII, mai 1891, p. 196-202). — **Variations de conductibilité sous diverses influences électriques** (*J. Lum. élect.*, t. XL, 16 mai 1891, p. 301-309; t. XL, 13 juin 1891, p. 506-511). — **Conductibilité électrique des corps isolants** (*J. Phys.*, 3e série, t. I, novembre 1892). — **Sur la conductibilité des substances isolantes discontinues** (*C. R. Ac. Sc.*, 12 février 1894). — **Emploi des tubes à limaille dans l'étude des interférences électriques** (*J. Phys.*, 3e série, t. IV, juin 1895).

Mes premiers travaux sur les radioconducteurs ont paru dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* et dans divers Recueils. Mes expériences ayant été décrites sans préoccupation d'aucune revendication, les résultats obtenus se trouvent présentés dans l'ordre de leur découverte. Le lecteur peut éprouver, pour cette raison, des difficultés d'examen que j'ai cherché à lui épargner par un groupement méthodique et par des extraits empruntés directement à mes publications, au moins pour les recherches comprises entre 1890 et 1895.

Expérience principale.

J'avais observé les premiers phénomènes, très variables d'ailleurs, sur des lames de verre platiné. Après de longs tâtonnements, ils se sont accentués et orientés dans un sens constant sur des plaques d'ébonite couvertes avec pression de cuivre porphyrisé. Je suis arrivé ensuite aux limailles métalliques.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 24 novembre 1890. — « J'ai employé comme conducteurs de fines limailles métalliques de fer, aluminium, antimoine, cadmium, zinc, bismuth, etc. La limaille est versée dans un tube de verre ou d'ébonite, où elle est comprise entre deux tiges métalliques.

» Si l'on forme un circuit comprenant un élément Daniell, un galvanomètre à long fil et le tube à limaille, il ne passe le plus souvent qu'un courant insignifiant, mais il y a une brusque diminution de résistance accusée par une forte déviation du galvanomètre quand on vient à produire dans le voisinage du circuit une ou plusieurs décharges électriques. Je fais usage, à cet effet, soit d'une petite machine de Wims-

hurst, avec ou sans condensateur, soit d'une bobine de Ruhmkorff. L'action s'observe très aisément et sans précautions spéciales, à quelques mètres de distance. En faisant usage du pont de Wheatstone, j'ai pu constater cette action à plus de 20^{m} (en ligne directe), alors que l'appareil à étincelles fonctionnait dans une salle séparée du circuit de la limaille par trois grandes pièces et que le bruit des étincelles ne pouvait être perçu. Les variations de résistance sont considérables; elles sont, par exemple, de plusieurs millions d'ohms à 2000 et même 100, etc. La diminution n'est pas passagère . . . .

» . . . Pour que l'action ait lieu, il n'est pas nécessaire que le circuit de la limaille soit fermé. La diminution de résistance se produit mieux si le tube à limaille, bien qu'en circuit ouvert, est relié par ses extrémités à des fils conducteurs. »

L'observation de la déviation d'un galvanomètre présentait cet avantage qu'elle permettait d'obtenir par substitution la mesure de la variation de résistance du tube à limaille, mais je réalisais à distance la production brusque d'un effet quelconque du courant.

Journal la Lumière électrique, 16 mai 1891. — « Composons un circuit comprenant une pile de quelques accumulateurs, la poudre métallique, un fil de platine, un godet de mercure. Comme la résistance de la poudre arrête le courant, l'interruption du circuit a lieu au godet de mercure sans production d'étincelle. Par la décharge d'une bouteille de Leyde au voisinage du circuit, la poudre devient conductrice. le fil de platine rougit et une étincelle jaillit cette fois au godet à mercure quand on vient à interrompre le courant. »

Dans ces diverses expériences, le tube à limaille ferme un courant à distance sans fil intermédiaire.

Variétés de radioconducteurs.

Les substances qui offrent, comme les limailles métalliques, une variation de résistance par l'action d'une étincelle électrique à distance, et auxquelles j'ai donné le nom de *radioconducteurs,* sont très variées. A part les lames métalliques minces pour lesquelles la continuité existe en certains points, ce sont des substances nettement discontinues. Les intervalles sont occupés par des diélectriques. Il a été souvent utile d'associer la pression à l'influence électrique pour rapprocher les grains conducteurs.

Bulletin des séances de la Société française de Physique, avril 1891. — « Les corps dont il s'agit sont très variés : limailles et grenailles métalliques, métaux réduits et porphyrisés, mélanges de poudres isolantes et de poudres métalliques, poudres de quelques oxydes et sulfures métalliques, plaques d'ébonite métallisées ou plombaginées, crayons solides formés de poudres métalliques agglomérées par la fusion d'une substance isolante, verres platinés, argentés, lames de verre recouvertes de feuilles métalliques

très minces, charbon à lumière Carré, sélénium recuit, etc. Ce sont des substances formées de particules conductrices interrompues par un milieu isolant. Parmi ces différents corps, ceux avec lesquels les variations de conductibilité se manifestent le plus aisément sont les poudres et limailles métalliques. Le passage de la poudre à travers des tamis permet d'employer des grains de grosseurs déterminées. Les limailles d'aluminium et d'antimoine qui ont servi dans un grand nombre d'essais avaient des grains compris entre $0^{mm},7$ et $0^{mm},8$. On peut s'adresser à des particules beaucoup plus fines, telles que celles de métaux réduits ou porphyrisés, ou beaucoup plus grosses, telles que des grains de plomb de 1^{mm} de diamètre.... Comme la pression, de son côté, produit un accroissement notable de conductibilité, il est avantageux, pour agir sur certaines substances extrêmement résistantes, d'associer les actions de la pression et de l'influence électrique. »

Comptes rendus de l'Académie, 12 janvier 1891. — « Les résultats sont analogues quand on substitue divers diélectriques à l'air interposé entre les particules de la poussière métallique. Plusieurs des substances employées ont une consistance pâteuse : tels sont des mélanges d'huile de colza et de limaille de fer ou d'antimoine, d'essence de térébenthine et de limaille de fer; d'autres sont solides. »

Comptes rendus de l'Académie, 12 février 1894. — « Mélanges de poudres conductrices et isolantes contenus dans un tube d'ébonite et soumis parfois à d'énergiques pressions; mélanges solidifiés par fusion de conducteurs et d'isolants pulvérisés formant des plaques ou des cylindres et offrant souvent *la compacité et la dureté du marbre* (métaux avec soufre, résine, baumes, ozokérite, cires, etc.). »

Toutes ces variétés se comportent rigoureusement de la même manière. A part des différences dans la sensibilité et dans la facilité de retour, différences qu'on atténue en faisant varier les conditions d'expérimentation, par exemple la pression et la force électromotrice du circuit, elles présentent toutes la même allure.

Retour à la résistance par le choc.

Dès ma première Communication du 24 novembre 1890, je signale le retour à la résistance par le choc; j'y ai insisté davantage dans d'autres Recueils.

Bulletin des séances de la Société française de Physique, avril 1891. — « Qu'il s'agisse d'une limaille métallique noyée dans l'air ou dans un autre diélectrique, que la variation de conductibilité soit considérable ou très petite, l'effet est *persistant*.... Cette conductibilité subsiste après l'action électrique, non seulement pour des courants de grande force électromotrice, mais aussi pour les courants thermo-électriques les plus faibles....

» Certaines circonstances physiques peuvent hâter singulièrement le retour, particulièrement le *choc*. Quand il s'agit d'une poudre métallique, plus ou moins conductrice,

placée dans un circuit traversé par un courant, le choc augmente en général la résistance (avant toute action électrique). Ici, après l'influence électrique, le choc produit le retour à la résistance primitive. Les trépidations de la rue, la marche dans une salle voisine, l'ébranlement d'un mur à distance suffisent quand l'action a été faible; au contraire, si l'action a été forte, il faudra des chocs violents, des coups de marteau sur la table qui sert de support, même avec les poudres métalliques. C'est avec les poudres métalliques que l'effet du choc se manifeste le mieux; toutefois, le retour par le choc se produit encore aisément avec la plupart des substances solides. »

Pour n'avoir pas à insister davantage sur le retour par le choc que j'ai employé constamment, je vais rappeler une des expériences que j'ai reproduites en 1891 dans une des séances de la Société internationale des Électriciens. C'est un complément de l'expérience principale du début.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, mai 1891. — « Deux circuits sont placés sur une grande table; un premier circuit comprend un élément Daniell, un galvanomètre et un cylindre en ébonite contenant de la limaille d'aluminium comprise entre deux électrodes de cuivre. A quelque distance, est disposé un autre circuit tout à fait indépendant du premier, composé d'un élément à bichromate et d'une petite bobine d'induction; aux deux bornes de la bobine induite sont fixés deux fils aboutissant à un excitateur, entre les tiges duquel peuvent jaillir de courtes étincelles. Dès la première étincelle, la poudre métallique du premier circuit devient conductrice et l'aiguille du galvanomètre est déviée. Un petit coup de règle sur la table supprime la conductibilité (les étincelles de l'excitateur ayant cessé) et l'aiguille du galvanomètre revient au zéro.

» L'expérience est répétée à circuit ouvert, en tenant, à l'aide de godets à mercure, le tube à limaille séparé de son circuit pendant que les étincelles de l'excitateur éclatent. Quand les étincelles de l'excitateur ont été suspendues, on rétablit par les godets la communication du tube à limaille avec la pile et le galvanomètre de son circuit; on voit que l'aiguille du galvanomètre est alors déviée. Un petit coup de règle sur la table rétablit la résistance. »

Avec certaines substances le retour paraissait spontané sans choc. Les substances avec lesquelles le retour offrait ce caractère ont été désignées sous le nom d'*autodécohéreurs*.

Journal la Lumière électrique, 13 juin 1891. — « Avec certaines substances, pour des actions faibles, le retour a pu paraître spontané. Le retour paraissait ainsi spontané, pour une action faible, avec un mélange à parties égales de poudres fines de sélénium et de tellure. »

Retour à la résistance par la chaleur.

Bulletin des séances de la Société de Physique, 1891, p. 140. — « Une élévation de température rétablit aussi la résistance; une plaque d'ébonite, couverte de cuivre por-

phyrisé appliqué avec le brunissoir et placée après l'action électrique près d'un bec de gaz, reprend rapidement sa résistance; même retour rapide quand on chauffe entre les doigts un crayon solide de poudre d'aluminium et de résine agglomérées par fusion. »

Journal la Lumière électrique, 13 juin 1891. — « Un crayon solide de résine et d'aluminium ou un crayon solide de soufre et d'aluminium, rendus conducteurs par communication avec les pôles d'une pile d'un petit nombre d'éléments, reprennent leur résistance par le choc; mais, si la conductibilité a été établie par une action vive, par exemple par l'électrisation directe avec une armature d'une bouteille de Leyde, le choc n'a plus d'effet, au moins les chocs que permettrait la fragilité de la substance; dans ce cas, une faible élévation de température rétablit la résistance primitive. En graduant convenablement l'action électrique, on parvient à un état pour lequel la chaleur des doigts suffit pour annuler la conductibilité. »

Comptes rendus de l'Académie, 12 février 1894. — « Jusqu'ici le seul effet de la chaleur que j'avais observé avait été de supprimer sans retour la conductibilité acquise par influence électrique. J'ai pu mettre en évidence la réapparition spontanée de la conductibilité dans un certain nombre de cas où la chaleur l'avait fait disparaître.

» Soit un cylindre solide de soufre et de limaille fine d'aluminium (parties égales) mélangés par fusion. Pas de conductibilité. Mélange rendu conducteur par contact avec une armature d'un condensateur peu chargé. On fait disparaître complètement la conductibilité en chauffant. La source de chaleur est retirée, la conductibilité revient après quelques instants : ces alternatives sont reproduites un grand nombre de fois. On laisse ensuite la chaleur agir pendant une minute après que la conductibilité a disparu; il faut attendre plus de 5 minutes pour voir réapparaître la conductibilité. Il faut une attente plus longue si l'action calorifique est maintenue pendant 2 minutes après la disparition de la conductibilité. La conductibilité ne réapparaît plus si l'action de la chaleur a été poursuivie pendant 3 minutes. »

Conditions de sensibilité.

L'étude du retour à la résistance par le choc a été faite à plusieurs reprises avec des appareils à course réglée dont l'effet était constant; j'ai alors observé ce que j'ai appelé *la sensibilisation par un premier effet,* et, en réglant le choc, j'ai pu l'utiliser pour augmenter la sensibilité.

Journal la Lumière électrique, 13 juin 1891. — « Après une vive action électrique, le retour ayant été obtenu par un choc et l'aiguille du galvanomètre placé dans le circuit ayant regagné sa position d'équilibre, le retour à la résistance primitive n'est pas en général complet; en effet, la substance étudiée accuse d'ordinaire une sensibilité plus grande aux actions électriques, et une influence électrique faible qui était primitivement sans action est maintenant efficace. »

Je donne ensuite un certain nombre d'exemples de retour incomplet et j'ajoute :

« Il résulte de ce qui précède qu'il y a lieu de distinguer les effets produits sur une substance neuve et ceux qui se rapportent à une substance ayant subi une action antérieure. »

Ces résultats importants sont présentés ailleurs sous une forme analogue.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, mai 1891. — « Lorsque, par un choc, on a rétabli la résistance initiale et que le galvanomètre qui sert aux mesures est revenu au zéro, la conductibilité est souvent reproduite aussi accentuée que la première fois par une action électrique beaucoup plus faible que celle du premier départ. Un choc très faible fait alors reparaître la résistance; une nouvelle action très faible rétablit la conductibilité, et ces alternatives peuvent se répéter un grand nombre de fois. On est conduit à voir là des effets résiduels analogues à ceux du magnétisme et de la polarisation. »

Journal de Physique, 3e série, t. IV, juin 1895. — Un premier accroissement de conductibilité peut exiger un courant de très haut potentiel; mais, dès que l'effet s'est manifesté et qu'on l'a fait disparaître, la conductibilité reparaît par des courants bien plus faibles qu'au début. Cette conductibilité consécutive fournit des appareils indicateurs d'une extrême sensibilité.

Quand une substance est à l'état sensible, elle donne à un galvanomètre placé avec elle dans le circuit d'un élément de pile une légère déviation. C'est ce que j'avais remarqué dès le début, avec les plaques d'ébonite métallisées.

Journal la Lumière électrique, 16 mai 1891. — « Avec un peu d'habitude, on prépare des plaques qui se montrent toutes plus ou moins sensibles aux actions électriques; les plaques d'ébonite cuivrées étaient les plus sensibles, surtout celles qui offraient au galvanomètre, avec un élément Daniell, quelques millimètres de déviation. Au galvanomètre employé, sans shunt, 1^{mm} de déviation (règle à 2^{m}) correspondait à un courant de $\frac{1}{30.10^8}$ ampère. »

Par une pression convenable, on se place facilement dans des conditions de bonne sensibilité.

Journal la Lumière électrique, 16 mai 1891. — « En limitant la longueur de la limaille et en exerçant sur elle une pression à l'aide de poids graduellement croissants, on arrive souvent assez vite au point où l'influence électrique peut s'exercer. »

C'est en déplaçant doucement les tiges métalliques entre lesquelles est intercalée la couche de limaille que je réglais habituellement la sensibilité.

Antennes.

J'ai indiqué dans mes publications le rôle des antennes.

ANTENNE AU POSTE TRANSMETTEUR.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 13 janvier ~~1901~~ 1891. — « Parmi les dispositions expérimentales qui permettent de réaliser à distance l'accroissement de conductibilité d'un tube à limaille, j'en décrirai une qui me paraît particulièrement intéressante.

» La substance sensible est à environ 10^{m} d'une machine de Holtz et de son excitateur. Deux tubes cylindriques de laiton A et A′, soutenus par des supports isolants, reliés respectivement aux deux branches de l'excitateur, écartés l'un de l'autre de $0^{m},40$, courent parallèlement [1]. Les bouteilles de Leyde annexées ordinairement à la machine de Holtz ont été supprimées, mais leur capacité est remplacée dans une certaine mesure par celle des tubes de laiton. Les sphères de l'excitateur sont distantes de 1^{mm}, ou $0^{mm},5$ ou même $0^{mm},1$ ($\frac{1}{10}$ de millimètre). La substance sensible; est placée en face des tubes, à une certaine distance des derniers tronçons qu'il a été commode de disposer verticalement. On observe la diminution de résistance de la substance sensible quand les étincelles éclatent. A la distance de 10^{m}, les étincelles très réduites de l'excitateur n'exerçaient aucun effet direct sur la substance sensible; on s'en assurait en éloignant de la substance sensible les dernières parties des tubes de laiton, tout en les maintenant reliées à l'excitateur, afin de ne pas modifier l'étincelle.

» Les tubes A et A′ ne sont pas tous les deux nécessaires; la diminution de résistance est très facilement produite quand on n'en fait agir qu'un seul.

» Ces expériences se font de la même façon avec les tubes A et A′ en remplaçant la machine de Holtz par une petite bobine de Ruhmkorff dont les étincelles induites, extrêmement courtes, jaillissent entre les deux sphères de l'excitateur. »

Journal le Cosmos, 14 mars ~~1901~~ 1891. — Voici une expérience que M. Branly a eu l'obligeance de répéter devant moi :

« La substance sensible est intercalée dans le circuit d'un élément de pile. A une certaine distance, on dispose horizontalement un cylindre de laiton AB, relié à une longue tringle métallique qui se termine dans une salle voisine de celle où se trouve la substance sensible. On charge le cylindre AB au moyen d'une étincelle de bouteille de Leyde qu'on fait éclater en touchant la tringle avec la bouteille à une dizaine de mètres de la substance sensible; la résistance de la substance diminue immédiatement et l'aiguille du galvanomètre du circuit passe de 0° à 90°. Cette disposition a pour objet de permettre de charger et de décharger le cylindre AB sans que l'étincelle de charge ou de décharge puisse influencer directement la substance soumise à l'expérience.

» Si le cylindre AB a été chargé préalablement à l'introduction, dans le circuit de

---

[1] Ces tubes avaient été fixés au plafond de mon laboratoire; on les y voit encore en grande partie.

la pile, de la substance sensible soumise à l'expérience, la même diminution de résistance de la substance se produit lorsqu'on décharge le cylindre. »

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, mai 1891. — « Pour obtenir le phénomène de la diminution de résistance d'un tube à limaille, on fait simplement fonctionner une machine de Holtz au voisinage de son circuit, ou mieux on dispose à proximité un conducteur parcouru par les courants oscillatoires d'une décharge de condensateur. »

Journal la Lumière électrique, 16 mai 1891. — « Les variations de résistance que j'ai obtenues dans des conditions nouvelles, en faisant agir diverses influences électriques, n'avaient pas été observées jusqu'ici.

» 1° *Action des étincelles électriques.* — Je commence par décrire cette action....

» 2° *Action d'un conducteur traversé par les courants de décharge d'un condensateur.* — J'ai éloigné l'étincelle de façon à n'avoir plus à tenir compte de sa propre action sur la limaille métallique. Prenons un long tube de laiton, voisin par une de ses extrémités du circuit qui renferme la limaille métallique. De l'autre extrémité de ce tube, distante de la limaille de plusieurs mètres, on approche une armature d'une bouteille de Leyde chargée ; une étincelle éclate, le tube de laiton est chargé. Au moment de cette charge, les courants de haut potentiel qui parcourent brusquement le tube produisent l'accroissement de conductibilité de la limaille. Le même accroissement de conductibilité a lieu quand on vient à décharger le tube, que cette décharge soit faite à proximité ou loin du circuit qui contient la limaille. »

Journal la Lumière électrique, 13 juin 1891. — « Si l'action électrique influente consiste dans le passage dans une tringle métallique des courants d'une décharge de condensateur, la conductibilité déterminée sur une limaille métallique augmente avec la longueur de l'étincelle qui éclate entre les boules de l'excitateur ; elle augmente aussi quand la tringle active se rapproche du circuit qui comprend la limaille. »

ANTENNE AU POSTE RÉCEPTEUR.

Journal la Lumière électrique, 13 juin 1891. — « On loge en entier dans une enceinte métallique un circuit comprenant une limaille, un élément Daniell et un galvanomètre. L'enceinte est une caisse de forme cubique, garnie extérieurement de clinquant. Les déplacements du miroir du galvanomètre sont visibles au moyen d'une lunette à travers une toile métallique à larges mailles qui couvre une petite portion d'une paroi de la caisse. Le tube à limaille est placé à l'intérieur, à une petite distance d'une face de la caisse, qui est mobile. Quand cette face mobile est enlevée, le tube à limaille se trouve en regard d'un fil conducteur A traversé par des décharges de condensateur. Il y a action sur le tube quand la face mobile est enlevée, l'action ne se produit plus si la caisse est entièrement close.

» Un fil métallique *f*, relié dans l'intérieur de la caisse à un point du circuit du tube à limaille, sort par une petite ouverture percée dans une paroi de la caisse. Si l'on fait sortir ce fil sur une longueur de $0^m,20$ à $0^m,50$, la conductibilité du tube à limaille est

provoquée. En frappant alors sur les parois de la caisse pour rétablir par des chocs la résistance du tube à limaille, l'aiguille du galvanomètre reste déviée; cela n'aurait pas lieu si l'action influente du conducteur A ne persistait pas. Sans cesser de faire passer des décharges dans le conducteur A, on fait rentrer le fil *f*, en n'en laissant plus sortir que quelques millimètres; il suffit alors de quelques coups frappés sur les parois pour rétablir immédiatement la résistance; l'influence cesse en effet de s'exercer. »

Dans cette expérience, le fil conducteur A joue le rôle d'antenne de transmission, le fil *f* est une antenne de réception.

Rôle des obstacles.

Le fait signalé plus haut, dans l'extrait de mon expérience fondamentale, de l'action de l'étincelle à distance à travers des cloisons et des murs indiquait que les corps qui arrêtent un rayonnement lumineux ne s'opposent pas tous à la propagation du rayonnement électrique de l'étincelle.

J'ai fait voir que l'action était annulée quand la substance sensible était enfermée dans une enceinte métallique complètement close. La démonstration a été développée plus haut, *à propos du rôle des antennes au poste récepteur*, en montrant qu'une action, qui était nulle quand le radioconducteur se trouvait *avec son circuit entier* dans une enceinte métallique fermée, se manifestait aussitôt qu'on laissait sortir de l'enceinte un fil conducteur relié à un point du circuit intérieur.

J'ai complété en 1898 l'étude de l'action d'une enceinte métallique fermée, en insistant sur l'importance de certaines précautions pour avoir la certitude de rendre la fermeture absolument hermétique.

Radioconducteurs à un seul contact.

Les divers radioconducteurs dont il a été question précédemment sont formés de particules conductrices alternant avec des particules isolantes. Comme leur nombre importe peu, on devait s'attendre à réaliser les mêmes phénomènes avec une seule particule isolante comprise entre deux électrodes métalliques. Ces expériences peuvent prendre différentes formes.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 12 janvier 1891. — « Deux tiges cylindriques de cuivre rouge sont oxydées dans la flamme d'un bec Bunsen, puis elles sont superposées en croix, chargées de poids pour éviter les variations par trépidations et reliées respectivement aux bornes d'une branche d'un pont de Wheatstone. La résistance principale de cette branche réside dans les deux couches d'oxydes en contact. Une mesure prise au hasard parmi un grand nombre accusait une résistance de

80000 ohms avant les étincelles d'une machine électrique placée à distance; cette résistance passa à 7 ohms après les étincelles.

» Un effet analogue est obtenu en superposant deux tiges d'acier oxydées ou une tige d'acier et une tige de cuivre, toutes deux oxydées. On peut encore poser, sur un plan de cuivre, un cylindre de cuivre à tête hémisphérique oxydée, appliqué par son poids. Au lieu d'oxyder les surfaces en contact, il revient au même de les recouvrir d'une très mince couche de résine. »

Journal la Lumière électrique, 16 mai 1891. — « Lorsque les poids appliqués sur les deux tiges disposées en croix sont faibles, la conductibilité n'est aisément établie que si les couches de résine sont très minces; on peut leur donner une plus forte épaisseur si l'on exerce une pression de plusieurs kilogrammes.

J'ai repris après 1897 la question des radioconducteurs à un seul contact, sous des formes plus avantageuses; j'y reviendrai.

L'action à distance est un cas particulier.

Dès le début, lors de ma première Communication à l'Académie, le 24 novembre 1890, j'ai présenté comme spécialement intéressante l'action exercée à distance sur une limaille métallique par une étincelle de décharge de condensateur; mais, en poursuivant l'étude du phénomène et en examinant les conditions à remplir pour le produire, j'ai reconnu qu'il n'était qu'un cas particulier d'une action plus générale. Afin d'être plus bref, je me contente de rappeler les termes dans lesquels j'ai résumé l'ensemble de mes expériences.

Bulletin de la Société française de Physique, avril 1891. — *Le passage d'un courant de haute tension, continu ou induit, peut accroître la conductibilité d'une limaille métallique dans une forte proportion;* parfois la résistance décroît de plusieurs millions d'ohms à quelques ohms.

Pour observer ce phénomène, *tantôt* on relie la colonne de limaille aux deux pôles d'une pile de 50, 100 ou 200 volts, pendant un temps qui varie de quelques secondes à 1 minute; *tantôt* on fait passer dans cette colonne des courants induits ou des décharges de condensateur; *tantôt* on fait simplement fonctionner dans le voisinage une machine de Holtz, ou mieux on place à proximité un conducteur parcouru par les courants oscillatoires d'une décharge de condensateur.

La description de quelques expériences permettra de préciser les conditions dans lesquelles il convient d'opérer pour obtenir les résultats les plus frappants.

On forme un circuit comprenant un élément de pile, un galvanomètre et une poudre métallique. Si la limaille est suffisamment fine, le courant paraît complètement arrêté, même avec un galvanomètre très sensible, ou à peu près complètement arrêté.

Si l'on fait éclater à une certaine distance du circuit la décharge d'une bouteille de

Leyde, l'aiguille du galvanomètre du circuit de la poudre est alors brusquement écartée de sa position d'équilibre et reste déviée.

Voici une autre façon de procéder. Prenons un long tube de laiton, voisin par une de ses extrémités du circuit de la poudre métallique. De l'autre extrémité de ce conducteur, distante de la poudre de plusieurs mètres, on approche une armature d'une bouteille de Leyde; une étincelle éclate. Les courants de haute tension qui ont parcouru brusquement le tube, au moment de sa charge, ont produit l'accroissement de conductibilité. On sait que *les courants oscillatoires très rapides, produits dans la décharge des condensateurs, donnent lieu, à distance, à des effets d'induction de très grande puissance.* Des courants induits très actifs traversent alors la poudre métallique.

» L'effet sera plus vif si les courants de décharge, au lieu d'agir à distance, parcourent le circuit lui-même. Il suffit de toucher un point du circuit avec l'une des armatures d'une bouteille de Leyde. L'action sera très forte s'il y a étincelle ; quelquefois on agira avec une étincelle imperceptible, ou même avec la faible quantité d'électricité que garde encore la bouteille après une décharge prolongée et qui convient pour écarter modérément les feuilles d'un électroscope ordinaire. »

J'ai développé dans un très grand nombre d'expériences fort variées l'action des diverses influences qui déterminent l'accroissement de conductibilité des radioconducteurs; les effets de la pression, du choc et de la chaleur ont été les mêmes, quelle que fût l'influence exercée.

Cause et mécanisme de l'accroissement de conductibilité.

Cause. — Je rappelle les termes dans lesquels je l'ai formulée dans le *Bulletin des séances de la Société française de Physique* (année 1891, p. 137).

« Les courants oscillatoires très rapides, produits dans la décharge des condensateurs, donnent lieu, à distance, à des effets d'induction de très grande puissance. Des courants induits très actifs traversent alors la poudre métallique. »

Mécanisme. — J'ai présenté diverses façons d'expliquer le mécanisme de l'action. J'en ai d'abord écarté plusieurs.

Bulletin des séances de la Société française de Physique, avril 1891. — « Des mouvements des particules métalliques ne peuvent être supposés dans un certain nombre de ces essais, où les particules d'une couche de quelques millimètres d'épaisseur étaient fixées dans une position relative invariable par des pressions extrêmement fortes, etc. D'ailleurs, les mélanges solides avec lesquels les mêmes variations de conductibilité se réalisent semblent exclure tout déplacement.

» Pour expliquer la persistance de la conductibilité après que l'action électrique a cessé, on pourrait supposer que les minces couches isolantes, intercalées entre les

grains conducteurs, sont perforées par le passage de très petites étincelles dont le trajet se tapisse de matière conductrice entraînée. Si l'on admet cette explication, il conviendra de l'appliquer aux courants continus aussi bien qu'aux courants induits, et l'on devra en conclure que ces actions mécaniques peuvent être produites par des piles n'ayant que 10 et 20 volts de force électromotrice et ne donnant au début, dans la substance sensible, qu'un courant d'une intensité extrêmement faible. »

Je formule alors l'hypothèse que je trouve préférable.

« L'examen des conditions du phénomène conduit plutôt à admettre une modification physique des couches minces isolantes qui les rend conductrices. Cette modification de l'isolant persiste quelque temps par une sorte de *force coercitive*.

» Les faits qui suivent semblent appuyer cette manière de voir.

» Avec une rapidité qui varie suivant l'intensité de l'effet produit et la nature de la substance, en un temps compris entre quelques secondes et quelques jours, le milieu isolant reprend graduellement ses propriétés et l'accroissement de conductibilité disparaît. »

Je cite ensuite à l'appui de cette manière de voir le retour par le choc, le retour par la chaleur et la sensibilité par un premier effet qui rend la substance plus sensible à une nouvelle action, et j'assimile à ce moment cet état sensible à un état résiduel analogue à ceux du *magnétisme* et de la *polarisation électrolytique*.

Plus tard j'ajoute à cette première hypothèse une seconde hypothèse qui me paraît aussi traduire l'ensemble des phénomènes et je présente l'une ou l'autre comme possible.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 12 février 1894. — « 1° Ou l'isolant interposé entre les particules conductrices devient conducteur par l'action passagère d'un courant de haut potentiel et les divers phénomènes observés caractérisent la conductibilité de l'isolant.

» 2° Ou bien on peut regarder comme démontré qu'il n'est pas nécessaire que les particules d'un conducteur soient en contact pour livrer passage à un courant électrique, même faible; la distance pour laquelle la conductibilité électrique persistante a lieu dépend de l'énergie des effets électriques antérieurs. Dans ce cas, l'isolant sert principalement à maintenir un certain intervalle entre les particules. »

En partant de la seconde hypothèse, il m'a semblé que les radioconducteurs pouvaient être rattachés aux conducteurs ordinaires par les considérations suivantes :

« Les radioconducteurs se relient aux conducteurs continus par des intermédiaires tels que les lames métalliques minces, qui n'offrent qu'à un faible degré les variations de conductibilité si considérables des limailles métalliques et des agglomérés à gangue isolante. Il n'y a pas de séparation tranchée entre les deux groupes de conducteurs,

continus et discontinus, et un conducteur discontinu, à grains presque contigus noyés dans un milieu isolant, peut être regardé comme le type des conducteurs, quels qu'ils soient. Dans un bloc métallique, la compression a extrêmement réduit le milieu isolant qui entoure chaque grain, et les variations de conductibilité ne s'observent plus que sous l'action de la chaleur. Dans les conducteurs visiblement discontinus, la matière isolante maintient les grains conducteurs à une distance appréciable les uns des autres, et lorsque la matière isolante augmente, on constate que les variations de conductibilité, au lieu d'être persistantes, comme elles le sont en général avec les limailles métalliques, disparaissent immédiatement après avoir été provoquées par l'étincelle; enfin, pour une proportion encore plus grande de l'isolant, la conductibilité finit par ne plus devenir réalisable (Édouard Branly, *Conductibilité électrique des radioconducteurs,* dans la *Revue des questions scientifiques,* avril 1898).

RADIOCONDUCTEURS.

NOUVELLES RECHERCHES.

Ces recherches sont postérieures à 1895 ou aux premiers essais de télégraphie sans fil; elles sont le développement des phénomènes que j'avais fait connaître en 1890 et 1891. Les publications qui vont être analysées ont eu pour objet d'insister sur des points particuliers, de présenter des réclamations de priorité et de décrire des dispositifs avantageux dans les nouvelles applications.

*
* *

Résistance des lames métalliques minces (*C. R. Ac. Sc.,* 3 février 1896).

Mes expériences avaient été répétées à l'étranger. Le nombre des substances que j'avais laissées en dehors de mon expérimentation était restreint, et plusieurs fois j'ai eu à revendiquer ma priorité. C'est ce qui arriva pour les lames métalliques minces.

J'avais cité, en 1891, des lames métalliques très minces collées sur verre comme diminuant de résistance dans les mêmes conditions que les limailles (*C. R. Ac. Sc.,* t. CXII, p. 93; *Bull. Soc. intern. Électr.,* t. VIII, p. 197; *Lum. élect.,* t. XL, p. 307 et 507; *Bull. Soc. fr. Phys.,* année 1891, p. 135).

Comme je le fais remarquer dans ma réclamation, les lames métalliques minces ne sont pas des conducteurs franchement discontinus; mais, le battage ayant accru certains intervalles moléculaires, les décharges peuvent

agir en comblant des vides comme dans le cas d'agglomérés visiblement discontinus. Toutefois, pour les lames métalliques minces, la diminution de résistance n'atteint que quelques centièmes de la résistance totale. Le rétablissement de la résistance est encore produit par le choc.

A propos de ces expériences, j'insiste sur une cause d'erreur que mes études sur la résistance au contact de deux métaux permettent d'éviter. On peut être tenté, pour établir une bonne communication avec le circuit des extrémités de la lame mince, d'appliquer à ses extrémités des feuilles de plomb, que leur mollesse rend avantageuses pour le serrage. Si la lame mince est une lame d'aluminium, la décharge déterminera à la fois une diminution de résistance de la lame et la disparition d'une résistance de contact entre l'aluminium et le plomb, cette dernière étant très importante. Il convient d'appliquer aux extrémités de la lame mince d'aluminium des feuilles de cuivre ou d'argent.

*
* *

Sur la conductibilité électrique des substances conductrices discontinues, à propos de la télégraphie sans fil (*C. R. Ac. Sc.*, 6 décembre 1897).

Je fais remarquer que M. Marconi fait usage de mes tubes à limaille avec le mode de fonctionnement de mes expériences et le même retour par le choc, que la nature spéciale des poudres métalliques auxquelles il donne la préférence n'est pas nécessaire et que le point essentiel est le réglage de la conductibilité.

Conformément à mes observations antérieures sur le moyen d'augmenter la sensibilité d'un radioconducteur, la limaille employée, comprise comme autrefois entre deux tiges métalliques qui servent d'électrodes, doit être poussée doucement en déplaçant lentement l'une des tiges (à l'aide d'une vis si l'on veut) jusqu'à ce qu'une très légère conductibilité apparaisse. En 1891 j'avais déjà tamisé les limailles et pris des grains dont la grosseur était comprise entre des limites étroites; c'est ainsi qu'il faut opérer pour avoir des récepteurs satisfaisants, les grains devant être pris d'autant plus fins que la limaille est plus conductrice.

Je rappelle les diverses formes d'agglomérés, de pastilles, de feuilles métalliques sur lesquelles j'avais expérimenté et auxquelles on peut recourir.

J'insiste de nouveau sur des résultats de mes premières recherches : 1° sensibilité par un premier effet qui permet d'amener à un état très sen-

sible des substances qui sont au premier abord moins faciles à impressionner ; 2° réglage du choc ; 3° utilité de la réduction dans certains cas de la force électromotrice de la pile du circuit du radioconducteur ; 4° facilité d'obtenir des radioconducteurs qui reviennent immédiatement, sans choc, à leur résistance primitive.

*
* *

Radioconducteurs à limailles d'or et de platine (*C. R. Ac. Sc.*, 26 décembre 1898).

Diverses opinions avaient été formulées au sujet des différentes limailles et des limailles d'or et de platine en particulier. En raison de leur très grande conductibilité, ces dernières avaient été considérées comme impropres à la réception en télégraphie sans fil.

Je rappelle que la nature de la limaille n'est pas le seul élément qui intervient : le diamètre des grains, la conductibilité du métal doivent être en rapport avec le tassement et avec la force électromotrice de la pile du circuit du radioconducteur.

J'ai trouvé que, si l'or pur est d'un emploi délicat, sa grande sensibilité le rend recommandable. Les alliages d'or et de cuivre sont aussi d'un emploi très avantageux et peuvent être maniés plus aisément que l'or pur.

*
* *

Radioconducteurs à billes métalliques (*C. R. Ac. Sc.*, 1er mai 1899).

Je donne d'abord un extrait du *Bulletin de la Société française de Physique* (avril 1891) relatif à l'essai que j'avais fait d'un tube à limaille spécial, formé de grains de plomb alignés verticalement dans un tube de verre sur une hauteur de 1^{cm} entre deux tiges de laiton. Ce tube à limaille avait réagi à la façon ordinaire, sous l'action de l'étincelle et du choc.

A la suite de mes études sur la résistance au contact, soit de deux métaux, soit de deux disques polis d'un même métal, j'avais formé des colonnes de disques polis de fer et d'acier; elles s'étaient comportées comme des tubes à limaille, à la sensibilité près. Ayant attribué leur peu de sensibilité à la diminution que leur surface apportait à la densité des courants oscillatoires efficaces, j'ai pensé que des sphères métalliques superposées, n'offrant que de petites surfaces de contact, devaient offrir une sensibilité bien supérieure à celle des disques.

Je vérifie cette prévision sur un grand nombre de substances. L'acier dur,

l'aluminium sont d'un bon emploi. Je signale particulièrement des colonnes de billes d'acier poli, de 3^{mm} à 15^{mm} de diamètre. Ces billes étaient des billes d'acier trempé très dur, bien polies, telles qu'elles sont employées pour les roulements dans les automobiles et les vélocipèdes. La sensibilité et la régularité des radioconducteurs à billes d'acier, en colonne verticale, étaient aussi grandes que la sensibilité et la régularité des meilleurs tubes à limaille.

J'ajoute ici que j'ai fait figurer à l'Exposition universelle de 1900, dans la vitrine qui renfermait mes appareils, un tube à limaille très sensible qui consistait en une colonne verticale de six billes d'acier trempé et poli; chacune des billes avait 5^{cm} de diamètre et pesait plus de 500^{g}.

* * *

Accroissements de résistance des radioconducteurs (*C. R. Ac. Sc.*, 17 avril 1900).

Les diminutions ne sont pas les seules variations de résistance dues aux influences électriques. Dans un certain nombre de cas, j'ai observé des accroissements de résistance.

En 1889 et en 1890, en opérant sur des verres platinés qui m'avaient mis sur la voie des phénomènes de radioconduction que j'ai ensuite développés, j'avais rencontré tantôt une augmentation, tantôt une diminution de résistance, ce qui me laissait incertain.

Après avoir étudié en détail la diminution de résistance que les limailles et les assemblages similaires m'avaient présentée nettement, j'étais revenu, dès 1891, sur les phénomènes d'accroissement qui semblaient plus rares (*Lum. électr.*, t. XL, p. 511; *Bull. Soc. intern. Électr.*, t. VIII, p. 201; *Bull. Soc. Phys.*, 1891, p. 141), et j'avais signalé certaines conditions favorables à cet accroissement. Des limailles donnant une diminution habituelle présentaient un accroissement dans le cas d'une vive électrisation; des verres platinés offraient des alternatives répétées de diminution par faible électrisation, d'augmentation par forte électrisation; enfin, le peroxyde de plomb donnait toujours un accroissement de résistance, qui s'élevait avec la force électromotrice appliquée.

J'ai eu l'occasion de revenir sur ce sujet, en 1900, à propos de publications dans lesquelles on attribuait les accroissements de résistance à des ruptures ou à des modifications chimiques, ce qui me semblait incompatible avec les alternatives que j'avais remarquées.

Par de nouvelles expériences, j'ai reconnu que des limailles d'or offraient les alternatives de diminution de résistance par faible électrisation et d'augmentation par forte électrisation. Le peroxyde de plomb s'est comporté comme en 1891. Enfin de minces feuilles d'or, collées sur verre et usées par un frottement convenable, donnaient un accroissement de résistance.

*
* *

Radioconducteurs à contact unique (*C. R. Ac. Sc.*, 10 février 1902).

Mes premiers essais sur les radioconducteurs à contact unique, publiés en 1891, étaient la conséquence de mes expériences sur les limailles. Les contacts multiples conduisaient au contact élémentaire.

Il s'agissait alors de contacts entre deux surfaces dont l'une au moins était oxydée. Plus tard, à l'occasion des contacts de billes métalliques, j'avais montré qu'une surface polie pouvait jouer un rôle analogue à celui d'une surface oxydée; une colonne de disques polis d'aluminium ou d'acier constituait un tube à limaille. En remplaçant les disques par des billes, j'avais obtenu un radioconducteur très sensible.

Ayant utilisé tour à tour l'oxydation et le poli, j'ai songé à combiner les deux modifications en posant sur un disque d'acier trempé et poli trois tiges fines d'acier trempé, à extrémités polies et très légèrement oxydées. En faisant varier le degré d'oxydation au four électrique, je me proposais d'obtenir avec ce *trépied-disque* un récepteur sensible, à sensibilité réglable. Après des tentatives encourageantes, ne pouvant pas alors suivre des essais qui étaient très minutieux et très longs, j'ai abandonné la question du réglage et je me suis borné à la confection d'un type sensible, de préparation aisée, que j'ai trouvé plus régulier que le tube à limaille.

*
* *

Récepteur de télégraphie sans fil (*C. R. Ac. Sc.*, 26 mai 1902).

Le récepteur de la télégraphie sans fil était un inscripteur Morse auquel on adjoignait un frappeur qui ramenait par un choc, après chaque étincelle du poste transmetteur, le tube à limaille à son état primitif.

L'électro-aimant de l'inscripteur Morse et l'électro-aimant du frappeur étaient réunis en quantité dans le circuit de travail et traversés par le cou-

rant que fermait le relais au moment où le tube à limaille devenait conducteur.

En même temps que je substituais au tube à limaille le trépied-disque, je me suis proposé de supprimer le frappeur indépendant et d'utiliser pour la frappe le choc de la palette d'inscription contre l'un des butoirs qui limitaient sa course. J'ai établi de cette façon un récepteur plus simple que les récepteurs en usage.

Radioconducteur. — C'est un trépied formé d'un disque circulaire en laiton sur lequel sont implantées trois tiges verticales à pointes mousses. Ces pointes sont en acier trempé ou en cobalt, bien polies et maintenues ensuite pendant 1 heure à la température de 150°. Le poli du disque joue un rôle essentiel. En séparant successivement du disque deux pointes à la fois, on s'assure que chacun des trois contacts obéit à l'étincelle et au choc.

Circuit du radioconducteur. — Le courant est fourni par un élément d'un demi-volt (¹). D'une borne d'entrée, il va d'abord au disque d'acier poli, puis, par les pointes du trépied et ensuite par un fil souple, il se rend à la vis supérieure qui limite le déplacement ascendant de la palette d'inscription du Morse. Le courant traverse cette vis qui appuie sur une plaquette de platine fixée sur un isolant à la face supérieure de la palette. De la plaquette de platine, par un fil souple, le courant gagne une borne de sortie.

Circuit de travail. — C'est le circuit dont le courant est déclanché par le relais; il comprend une pile, les contacts fermés par le jeu du relais et les bobines de l'électro-aimant du Morse.

Fonctionnement. — Une étincelle ayant éclaté au poste transmetteur, le circuit du radioconducteur, qui était ouvert au contact des pointes du trépied et du disque, se ferme à ce contact; aussitôt, le circuit de travail se ferme à son tour par le jeu du relais.

La palette du Morse étant attirée par l'électro-aimant, le circuit *s'ouvre* entre la vis supérieure qui maintient la palette et le platine fixé sur cette palette. La palette continue son mouvement, vient buter contre une vis inférieure qui limite sa course et, par ce *choc, à circuit ouvert,* ramène le radioconducteur à son état primitif. Quand le ressort antagoniste du Morse a réappliqué la palette contre la vis supérieure, une nouvelle étincelle peut agir.

(¹) Actuellement, j'emploie une pile ayant pour force électromotrice $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{10}$ de volt.

Perfectionnements dans la construction du trépied-disque. — Dans le modèle précédent, le trépied reposait par son poids sur un disque plan ou légèrement concave, et aucun obstacle ne gênait son déplacement latéral. Tout arrêt destiné à le maintenir et contre lequel il serait venu buter aurait rendu son fonctionnement irrégulier. Pour que son emploi ne fût pas limité à des postes fixes, j'avais essayé divers supports à la Cardan.

Je me suis arrêté à un mode de suspension qui préserve les tiges d'acier de toute chute, tout en leur conservant une *mobilité* suffisante.

Le disque métallique, en acier trempé et poli, a une surface légèrement convexe. Deux colonnettes métalliques appuient, par leurs extrémités inférieures, arrondies et polies, sur la convexité du disque.

Par un mode de suspension spécial entre pointes, chacune des colonnettes tourne avec la plus grande facilité autour d'un axe horizontal porté par une plate-forme également horizontale. Cette plate-forme repose sur la tête élargie d'un axe vertical en laiton et peut tourner autour de cet axe. L'axe de laiton traverse le disque d'acier et en est isolé par un conduit en ivoire mastiqué sur le disque.

Le courant d'un élément de $\frac{1}{10}$ de volt arrive à l'axe de laiton et par lui à la plate-forme; de la plate-forme il passe aux colonnettes, puis au disque par les contacts des colonnettes. Les mouvements sur les axes horizontaux et sur la plate-forme se font entre surfaces d'or ou de platine.

Les colonnettes sont légèrement inclinées sur la verticale; cette inclinaison assure un meilleur contact sur la surface convexe du disque et permet de faire varier la pression contre le disque, par addition de petites masses additionnelles engagées comme écrous sur des vis filetées, fixées latéralement aux colonnettes.

Afin de préserver l'appareil de l'oxydation, le disque présente à son pourtour un rebord circulaire sur lequel on mastique une cloche en verre où l'on fait le vide.

Pour la réception des signaux au téléphone, sans inscription, les extrémités des colonnettes, au lieu d'être en acier poli, sont en tellure ou tellurures.

*
* *

Accroissements de sensibilité des révélateurs électrolytiques sous diverses influences
(*C. R. Ac. Sc.*, 9 mars 1908).

J'avais insisté en 1891, et à plusieurs reprises depuis cette époque, sur les analogies de la conductibilité intermittente des radioconducteurs avec

les phénomènes de la polarisation électrolytique et du magnétisme. Mes essais, pour obtenir des révélateurs électrolytiques et magnétiques, n'avaient pas été assez persévérants et n'avaient pas abouti.

Les révélateurs électrolytiques, employés depuis quelques années dans la réception des dépêches au téléphone, ont une apparence qui les rend semblables aux radioconducteurs, par la couche gazeuse extrêmement mince qui sépare l'électrode du liquide et par la pointe très fine qui est nécessaire pour une sensibilité suffisante.

Ces remarques m'ont conduit à rechercher sur les révélateurs électrolytiques l'influence de circonstances qui modifient le fonctionnement d'un radioconducteur : chaleur et choc.

J'ai constaté des accroissements de sensibilité très nets : l'un par élévation de température jusqu'à un maximum vers 80°, l'autre par l'agitation. L'agitation avait lieu, soit par une translation mécanique saccadée, soit par un dégagement gazeux dans l'électrolyte. C'est dans ce dernier cas que le renforcement obtenu a été le plus important. Le circuit récepteur comprenait un élément de pile, un électrolyte et un téléphone.

*
* *

Radioconducteurs à pointes de tellure et tellurures sur acier poli

(*C. R. Ac. Sc.*, 13 juillet et 3 août 1908).

A propos d'expériences où le tellure avait servi de détecteur d'ondes dans un circuit sans pile, j'ai fait remarquer que depuis longtemps, pour la réception au téléphone de signaux par étincelles, je faisais usage dans mon laboratoire de trépieds à pointes de tellure ou de tellurures reposant sur un disque d'acier poli; mais mon circuit renfermait une pile. Dans mon appareil, le contact tellure ou tellurure sur acier n'agissait pas par production de force électromotrice, comme je m'en étais assuré, mais simplement par variation de résistance. Les circonstances de l'emploi du tellure étaient donc différentes dans les deux cas.

RÉSISTANCES DE CONTACT DES MÉTAUX.

Résistance électrique au contact de deux métaux (*C. R. Ac. Sc.*, 22 avril 1895; *Bull. Soc. intern. Élect.*, 1er avril 1896). — **Résistance électrique au contact de deux disques d'un même métal** (*C. R. Ac. Sc.*, 25 juillet 1898; *J. Phys.*, janvier 1899). — **Radioconducteurs à billes métalliques** (*C. R. Ac. Sc.*, 1er mai 1899).

Deux larges plaques, de même métal ou de métaux différents, bien appliquées l'une sur l'autre, n'avaient pas paru susceptibles d'offrir une résistance appréciable à un courant électrique qui les traverse normalement. Pourtant, cette résistance existe pour certains métaux, elle peut même être considérable. Je l'ai mise en évidence par des méthodes variées.

I. *Disques métalliques superposés.* — Les surfaces des disques avaient été nettoyées et dressées sur un plan d'acier; elles n'étaient pas polies. Les disques avaient 8^{cm} de diamètre. J'ai formé un certain nombre de colonnes de cinq disques.

Dans une colonne, le disque supérieur et le disque inférieur étaient en laiton. Entre ces deux disques terminaux étaient intercalés trois autres disques. Ceux-ci étaient d'un même métal ou de deux métaux différents. Dans ce second cas, deux disques d'un métal A étaient en contact avec les disques de laiton, un disque d'un métal B était compris entre les deux disques A.

On aura par exemple, dans le second cas, la succession *laiton, cuivre rouge, zinc, cuivre rouge, laiton,* ou bien *laiton, bismuth, aluminium, bismuth, laiton.*

Une pression était exercée sur la colonne par des masses cylindriques posées sur le laiton supérieur et pesant 36^{kg}, 18^{kg} ou 6^{kg}.

Dans une première série d'expériences, les colonnes étaient successivement introduites dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone par deux fils de communication qui aboutissaient aux disques extrêmes de laiton. Le courant qui circulait dans le pont était celui d'un élément Daniell.

Les résultats obtenus en mesurant les résistances des diverses colonnes peuvent être formulés comme il suit :

1° Si les trois disques intercalés sont du même métal, la résistance de la

colonne est souvent négligeable ([1]) et reste négligeable après une longue superposition; cela tient à ce que les contacts d'un même métal n'offraient pas de résistance sensible entre eux, ni avec le laiton, *dans les conditions de l'expérience.*

2° Si les trois disques intercalés comprennent un disque B entre deux disques A, la résistance des disques A avec le laiton est souvent nulle, mais la résistance des contacts de B avec A dépend de la nature des métaux; elle est inappréciable avec certains couples de métaux, importante avec d'autres.

La résistance au contact de deux métaux A et B est inappréciable quand l'un des deux métaux du couple est du zinc, du cuivre, de l'argent, etc. Nous appellerons *premier groupe* le groupe des métaux qui rendent inappréciable la résistance de contact. Les métaux usuels de la pratique électrique appartiennent à ce premier groupe.

La résistance au contact de deux métaux A et B est importante avec des métaux d'un *second groupe.* Citons les contacts : plomb et aluminium, plomb et fer, étain et aluminium, étain et fer, bismuth et aluminium, bismuth et fer. Avec les métaux du second groupe, la valeur initiale de la résistance, c'est-à-dire la valeur de la résistance après la formation de la colonne, dépend de la nature des métaux, pour une pression déterminée. Pour un couple particulier et une pression constante, la résistance augmente progressivement avec la durée du contact, d'abord rapidement, puis plus lentement. L'accroissement de résistance a été quelquefois suivi pendant plus de 10 jours sans qu'une valeur fixe fût atteinte. Si l'on augmente la pression, la résistance initiale est plus faible, et il en est de même des résistances successives après des temps égaux. En tout cas, la résistance a toujours été importante et un accroissement progressif a toujours lieu, que le circuit soit resté ouvert ou fermé.

Exemples.

1° Laiton, cuivre rouge, zinc, cuivre rouge, laiton :

Résistance inappréciable. On aurait apprécié sûrement $\frac{1}{20000}$ d'ohm.

([1]) Il s'agit de disques dont les surfaces ne sont pas polies et le nombre des disques est ici réduit à trois.

2° Laiton, bismuth, aluminium, bismuth, laiton. Charge 6^{kg} :

Résistance initiale		ohm 0,4
»	après 1 heure et demie de contact	1,7
»	après 5 heures environ	3

3° Laiton, bismuth, bismuth, laiton, aluminium, laiton :

Résistance négligeable.

Pour la seconde colonne, les résistances observées se sont montrées très variables dans différents essais. Elles sont beaucoup plus faibles avec de fortes charges.

Une colonne qui présente une résistance, même importante, ne donne aucune déviation quand elle est mise seule en communication avec un galvanomètre après la suppression de la pile.

Au lieu de mesurer la résistance de contact de deux métaux dans un pont de Wheatstone, j'ai trouvé quelquefois plus commode de la mesurer avec un voltmètre. Une colonne était formée comme précédemment de deux laitons extrêmes et de trois disques intercalés A, B et A′ (A et A′ du même métal). On y faisait passer directement le courant d'un élément Daniell par les fils qui aboutissaient aux laitons extrêmes. Les trois disques intercalés portaient eux-mêmes sur leur tranche des fils de dérivation qu'on rattachait successivement au voltmètre. On mesurait ainsi les différences de potentiel, pendant le passage du courant, entre A et B, puis entre B et A′. Les résistances en ohms étaient évaluées par la comparaison avec la différence de potentiel pour une résistance connue qui faisait partie du circuit principal de l'élément Daniell et de la colonne.

Les résultats trouvés par ce mode opératoire ont confirmé les précédents. Les nombres obtenus sont indépendants du sens du courant.

II. *Pointes sur disques.* — J'ai fait usage d'un dispositif qui permet d'augmenter notablement la charge par unité de surface de contact.

Un tube cylindrique, analogue à un tube de microscope, est terminé à son extrémité inférieure par un bouton d'un métal B, vissé à la place de l'objectif; le tube glisse librement dans un tube extérieur vertical qui le guide et le bouton repose sur un large disque métallique A.

Le tube de microscope est surmonté d'une plate-forme sur laquelle on pose des poids. Un courant peut passer du bouton B au disque A, et le contact de A à B s'intercale dans un pont de Wheatstone.

Les contacts zinc sur zinc, cuivre sur cuivre, argent sur argent, zinc sur

cuivre ou plomb, cuivre sur fer, etc., même avec une faible charge, n'offrent pas de résistance appréciable. La résistance observée est celle des fils de communication; elle ne varie pas avec la durée du contact et elle est indépendante de la charge.

Avec des contacts de métaux du deuxième groupe, on vérifie les résultats obtenus avec les disques superposés.

III. *Fils métalliques et bornes de serrage.* — Un fil métallique, tel qu'un fil de plomb, est disposé entre deux bornes d'aluminium substituées aux deux bornes de laiton d'une branche d'un pont de Wheatstone. Chacun des bouts du fil est assujetti entre une vis de serrage en aluminium et une rondelle d'aluminium appliquée sur le métal du pont.

Le fil de plomb ayant été introduit précédemment entre les deux bornes de laiton, sa résistance était demeurée constante. La mesure faite sur le fil compris entre deux bornes d'aluminium donne un nombre notablement plus fort que le précédent et il augmente avec la durée des contacts. Quand on renforce le serrage, la résistance initiale diminue, mais l'accroissement progressif apparaît encore.

On se rend compte d'après cela des difficultés qu'on aurait rencontrées dans la mesure des résistances de certains conducteurs si un métal du second groupe avait été le métal du pont de Wheatstone.

Contacts multiples. — Dans les mesures que je viens de rappeler, je n'avais introduit qu'un ou deux contacts. Dans le cas où le nombre des disques augmente et où les disques sont tous d'un même métal, la résistance totale peut devenir importante par l'addition des résistances des différents contacts.

J'ai formé des colonnes ayant l'apparence des piles à colonnes de Volta. Les disques avaient 35^{mm} de diamètre et 6^{mm} d'épaisseur; ils étaient percés en leur centre d'une ouverture de 1^{cm} de diamètre. Ils ont été dressés, nettoyés et essuyés. J'ai formé des colonnes de 45 disques d'un même métal, intercalés entre deux disques extrêmes de laiton; je n'ai posé que de faibles surcharges sur les têtes de colonnes.

La résistance d'une colonne de disques d'un des métaux du premier groupe était constamment nulle et elle était encore nulle quand on faisait alterner dans la colonne des disques de plusieurs de ces métaux.

Avec des colonnes de disques de métaux du second groupe : fer, aluminium, bismuth, par exemple, la résistance variait avec la nature du métal;

elle était irrégulière pour un même métal et elle pouvait être considérable.

Si la colonne était formée de disques de métaux du second groupe, alternant, la résistance pouvait devenir *extrêmement grande* et elle était très irrégulière.

Une cause des irrégularités de ces résistances sera signalée plus loin.

Chocs et étincelles.

Je ne suis pas en mesure d'expliquer comment se comporte le mélange d'atmosphère gazeuse et d'atmosphère métallique interposé entre deux disques dans les deux cas si distincts de résistance négligeable et de résistance considérable, mais les phénomènes de contact entre deux métaux se sont reliés par leurs caractères aux phénomènes de contact des radioconducteurs. En effet, pour un contact de deux métaux, un choc produit aussi un accroissement de résistance, et une étincelle au contraire une diminution, et les deux effets sont persistants.

Chocs. — Quel que soit le dispositif auquel on s'adresse : disques superposés, pointe contre disque, fils métalliques et bornes de serrage, des chocs répétés donnent lieu pour les métaux du second groupe à des accroissements de résistance progressifs et importants. L'influence du choc paraît nulle pour les contacts des métaux du premier groupe.

Sans entrer dans les détails, je vais citer un exemple.

« Dans les extrémités supérieures de deux cylindres de bismuth en fusion, disposés verticalement et parallèlement, on a introduit les deux bouts d'un fil d'aluminium. Dans les extrémités inférieures des deux cylindres, deux fils de cuivre ont été de même assujettis, pour les communications. La résistance initiale du fil d'aluminium serré dans le bismuth a été trouvée égale à 0,57 ohm ; elle s'est élevée à 1,2 ohm par trois chocs. »

Avec les contacts multiples des colonnes de disques, les chocs conduisent à d'énormes accroissements de résistances. Ces accroissements sont mis en évidence par deux expériences consécutives effectuées dans des conditions spéciales : 1° une colonne de disques est formée en superposant les disques très doucement pour éviter autant que possible les chocs ; 2° la même colonne est formée avec chocs de la façon suivante : après avoir introduit l'ouverture d'un disque dans la tige d'ébonite, on le laisse tomber à plat de la hauteur libre sur les disques déjà placés. Un choc a lieu. On surajoute la même charge pour les deux formations consécutives.

« Avec des disques de zinc, de cuivre, ou de zinc et de cuivre qui alternent, la résistance de la colonne est nulle pour les deux formations, même sans surcharge.

» Avec des disques d'aluminium et une surcharge de 18^{kg}, la résistance était 0,5 ohm après la formation sans choc sensible; elle était de 5,1 ohms après la formation avec chocs. Si les disques d'aluminium sont polis, les effets sont infiniment plus accentués. »

Quand une colonne est formée de métaux du second groupe, alternant, tels que aluminium et plomb, la résistance initiale pour la formation sans chocs est beaucoup plus grande et la résistance augmente avec la durée des contacts. Lorsque la formation de la colonne mixte a été effectuée avec chocs, la résistance initiale devient très considérable et elle croît encore avec la durée des contacts. On peut alors atteindre des résistances de plusieurs milliers d'ohms.

L'influence si grande de chocs même faibles explique pourquoi les nombres trouvés pour les résistances de contact des métaux du second groupe sont extrêmement variables.

Étincelles. — Les étincelles électriques sont susceptibles de faire décroître, même à distance, la résistance des contacts des métaux du second groupe ; il ne peut être question de l'action des étincelles sur des colonnes à métaux du premier groupe, puisque, pour ces métaux, la résistance est constamment nulle.

L'action exercée à distance par une étincelle sur une colonne de disques métalliques offrant une résistance est généralement faible. On peut néanmoins la rendre facilement manifeste. On détermine sûrement une diminution de résistance très importante en touchant un point du circuit de la colonne avec une bouteille de Leyde qu'on a déchargée une ou deux fois et qui ne donne plus qu'une petite étincelle résiduelle.

Comme l'action des chocs, l'action des étincelles s'exerce sur les contacts de métaux, quelle que soit la méthode d'observation.

« Soit, dans la disposition des cinq disques superposés de 8^{cm} de diamètre, entre deux disques terminaux de laiton, deux disques de bismuth touchant chacun un laiton, et un disque d'aluminium intercalé entre les deux bismuths. Il y a une surcharge de 18^{kg}.

» Résistance initiale 0,24 ohm; après 45 minutes, 0,41 ohm.

» Par quelques chocs, on passe rapidement à 0,8 ohm; par une étincelle résiduelle d'une petite bouteille de Leyde qu'on met en contact avec un point du circuit de la colonne, la résistance tombe à 0,1 ohm. La diminution due à l'action de l'étincelle persiste longtemps. »

Assimilation aux tubes à limaille.

D'après les actions du choc et de l'étincelle, une colonne de disques se comporte comme un tube à limaille. Pour justifier complètement ce rapprochement, on forme une colonne de disques d'aluminium ou d'acier qu'on intercale dans le circuit d'une pile avec un galvanomètre. En effectuant un réglage analogue à celui d'un tube à limaille, on cherche à obtenir une légère conductibilité en variant le nombre des disques et la force électromotrice de la pile. On ramène ensuite la déviation au voisinage du zéro par un petit choc sur la colonne. Si, alors, on fait éclater à distance une étincelle de décharge de condensateur, le galvanomètre est dévié. Il y a retour par le choc, déviation par une nouvelle étincelle, ainsi de suite. Comme avec les tubes à limaille, l'emploi du galvanomètre permet l'étude du phénomène. On peut varier l'effet du courant : incandescence, sonnerie, comme avec un tube à limaille.

Avec des disques polis d'aluminium ou d'acier, le nombre des disques de la colonne peut être très réduit, car le poli exagère considérablement la résistance de contact.

Dans certains cas, en formant un circuit qui comprenait simplement un élément de 1 volt ou de 0,5 volt, une colonne de disques et un téléphone, je suis parvenu à recevoir au son une dépêche transmise à une dizaine de mètres par étincelles.

Les colonnes de disques présentent, à l'action du choc et des étincelles, les mêmes particularités que les tubes à limaille. Une colonne de disques est toutefois beaucoup moins sensible qu'un tube à limaille. Cela tient à ce que, en raison de la large surface des disques, la densité des courants oscillatoires qui traversent la colonne au moment du rayonnement de l'étincelle est très réduite. Toutes choses égales d'ailleurs, la sensibilité d'un radioconducteur augmente quand sa section diminue.

Il n'est pas hors de propos d'ajouter que, pour rendre compte du mécanisme de la conductibilité d'un tube à limaille par l'étincelle, une théorie ne sera valable que si elle s'applique aux colonnes de disques métalliques.

TRANSMISSION DU RAYONNEMENT ÉLECTRIQUE.

Une enveloppe métallique ne se laisse pas traverser par les radiations hertziennes (*C. R. Ac. Sc.*, 4 juillet 1898; *J. Phys.*, janvier 1899). — **Télégraphie sans fil et collisions en mer** (*C. R. Ac. Sc.*, 18 juillet 1898). — **Sur l'absorption des ondes hertziennes par des corps non métalliques** (En commun avec M. Gustave Le Bon, *C. R. Ac. Sc.*, 4 avril 1899). — **Absorption des ondes hertziennes par les liquides** (*C. R. Ac. Sc.*, 30 octobre 1899).

Enceinte métallique. — J'avais trouvé en 1891 que, lorsqu'un tube à limaille était entouré avec son circuit par une enveloppe métallique fermée, l'enveloppe ne se laissait pas traverser par le rayonnement d'une étincelle. J'avais fait un grand nombre d'expériences qui m'avaient paru très concluantes. Un peu plus tard, il me fallut parfois une double enveloppe pour arrêter le rayonnement. D'autres expérimentateurs trouvèrent à leur tour qu'une double enveloppe n'était même pas toujours suffisante. On pouvait penser, d'après cela, à un rôle de l'épaisseur de la caisse en métal.

J'ai repris la question en 1898, avec la collaboration de M. Gustave Le Bon. J'ai reconnu que le rayonnement électrique d'une étincelle était toujours arrêté par une enveloppe métallique, même extrêmement mince, si elle est hermétiquement elose. En outre, la cause des incertitudes antérieures s'est nettement manifestée.

L'intérieur d'une caisse en bois a été tapissé d'une feuille d'étain qui avait moins de $\frac{1}{100}$ de millimètre d'épaisseur. La boîte était fermée sur une de ses faces par une porte reeouverte intérieurement d'étain; la porte était bien ajustée et maintenue rigoureusement appliquée par des écrous sur les bords de l'ouverture.

A l'intérieur de la boîte se trouvait un tube à limaille avee son cireuit. Ce circuit eomprenait un galvanomètre. Un index solidaire du eadre mobile déterminait au moment de la déviation la fermeture du eircuit d'une sonnerie. Ce tube à limaille était assez sensible pour devenir conducteur à l'air libre, sans antennes, à 100^m d'un exeitateur à étincelles de 2^{mm}. La boîte étant fermée et l'excitateur fonctionnant à quelques centimètres des parois, le tube restait isolant. Sa conductibilité se manifestait, même à une grande distance de l'excitateur, dès qu'on desserrait un peu les écrous de fermeture de la porte.

L'action protectrice exercée par une enceinte métallique peut être présentée de différentes manières. On remplace la porte de fermeture de la

caisse métallique par une plaque de métal assez épaisse pour qu'on puisse y implanter une tige conductrice pénétrant à l'intérieur de 30^{cm} environ et sortant à l'extérieur d'une longueur quelconque. Le circuit d'un tube à limaille, renfermé dans la caisse, est relié directement à la partie intérieure de la tige conductrice ; si l'on met en communication avec un excitateur à étincelles en activité la partie extérieure de la tige, le radioconducteur n'est pas influencé.

L'excitateur à étincelles, la bobine d'induction et les accumulateurs, dont l'ensemble constituait le poste de transmission, furent à leur tour enfermés dans la caisse métallique ; ils n'exercèrent aucune action sur un circuit à radioconducteur extérieur à la caisse.

La continuité absolue des parois de la caisse métallique n'est pas indispensable; une enceinte en toile métallique à mailles suffisamment serrées offre la même garantie qu'une enveloppe parfaitement continue.

On a vu précédemment des joints mal assurés formant des *fentes* laisser passer l'action des étincelles; ici, de petites ouvertures, très nombreuses, de surface totale ouverte importante, sont imperméables. Cette différence d'effets m'a conduit à poursuivre la comparaison des effets des fentes et des ouvertures. Pour une fente, la direction, la longueur, la largeur sont à considérer.

L'action est très vive si la fente est perpendiculaire à l'axe de l'étincelle: par conséquent, avec une fente verticale, lorsque les tiges de l'excitateur sont horizontales; l'action diminue considérablement lorsque la fente est horizontale.

La fente étant perpendiculaire à l'axe de l'étincelle, sa longueur est la dimension qui importe le plus; une fente fine pratiquée avec un rasoir exerce un effet qui n'est pas beaucoup plus faible que celui d'une fente de même longueur, et d'une largeur de 1^{mm}.

L'importance de la continuité de la longueur de la fente est manifeste. Ainsi, l'axe de l'étincelle étant horizontal, deux fentes verticales de 10^{cm} de longueur et de 1^{mm} de largeur étaient séparées par un intervalle conducteur de $0^{mm},5$. L'étincelle de l'excitateur cessait d'agir quand on la reculait à 2^{m}. Après qu'on eut coupé le pont conducteur et réuni ainsi les deux fentes de 10^{cm}, la même étincelle ne cessa d'agir qu'à $5^{m},50$.

Des ouvertures rondes se laissent difficilement traverser quand leur diamètre est petit; il faut un grand nombre de petites ouvertures rondes, de surface totale importante, pour offrir un passage aussi facile qu'une simple fente de 10^{cm} pratiquée avec un rasoir.

*
* *

Murs. — Le rayonnement électrique, d'après les expériences réalisées sur une enceinte métallique, trouve un passage facile à travers des fentes fines des parois de l'enceinte. Cette observation pouvait faire douter, à l'égard d'un certain nombre de substances, de la transparence admise pour les radiations utilisées en télégraphie sans fil. On ne peut pas dire qu'une radiation traverse un mur si elle passe par les jointures des portes. Il était logique de reprendre quelques essais avec les précautions minutieuses qui venaient d'être prises dans le cas d'une enceinte métallique. C'est ce qui a été fait pour des blocs de ciment, des pierres, des caisses de sable.

Une cavité ayant la forme d'un cube de 10^{cm} de côté était ménagée au centre du bloc. Ce réduit était fermé sur cinq de ses faces par les parois du bloc; la sixième face était protégée par une porte métallique carrée, soigneusement ajustée et fixée à l'aide de vis et d'écrous. Cette porte livrait passage au circuit révélateur d'ondes, composé d'une pile, d'un tube à limaille et d'une sonnerie. Le tout occupait la cavité du réduit; il n'y avait pas d'antenne.

Le tube à limaille, très sensible, contenait une fine limaille d'un alliage d'or et de cuivre. Un radiateur, actionné par une bobine d'induction de 15^{cm} d'étincelle, était disposé en face du milieu de la paroi du réduit, à l'opposé de la porte métallique.

A l'air libre, le radiateur rendait conducteur le tube à limaille à une distance supérieure à 40^{m}, distance maxima dont on disposait. Après avoir placé le radiateur aussi près que possible du bloc, on l'éloignait progressivement jusqu'à ce que le silence de la sonnerie indiquât que les ondes électriques n'agissaient plus. Aux distances auxquelles le radiateur ne traversait plus la paroi, il suffisait de desserrer les écrous de la porte en métal pour que le tube fût influencé de nouveau.

Bloc de ciment. — Les parois du réduit avaient 30^{cm} d'épaisseur. 12 heures après la construction, le bloc étant encore très humide, l'opacité était complète, même pour une étincelle éclatant à quelques centimètres de la paroi. Après quelques jours, il fallait reculer le radiateur à 70^{cm}.

Pour un bloc de même matière et un réduit de 10^{cm} de parois, 12 heures après la construction, le radiateur cessait d'agir à 7^{m}. Après quelques jours, il fallait reculer le radiateur à 12^{m}.

Pierre blanche. — La pierre était sans défaut, le réduit avait 40^{cm} de parois. Sèche, la pierre se laissait traverser lorsque le radiateur était à plus de 40^{m}. Elle fut mouillée pendant quelques jours, l'action cessa à 25^{m}.

Des résultats analogues furent obtenus avec du sable sec et du sable saturé d'eau.

En résumé, pour ces substances, l'opacité croissait avec l'épaisseur et avec l'humidité.

* * *

Liquides. — Le liquide exposé au rayonnement était contenu dans une caisse cubique de 60^{cm} de côté dont la face supérieure restait ouverte. Les parois du fond de la caisse et de trois des faces latérales étaient en verre épais; la quatrième face latérale était une forte plaque de zinc offrant en son centre une ouverture carrée de 20^{cm} de côté qui donnait accès à une boîte en bois où on logeait le récepteur.

Par le liquide versé dans la caisse, la boîte centrale était entourée d'une couche de 20^{cm} d'épaisseur, sauf sur la face d'entrée qui était hermétiquement close par un couvercle métallique assujetti par des écrous. D'après cela, l'absorption étudiée était celle qui était exercée par des couches gazeuses ou liquides de 20^{cm} d'épaisseur.

Un radiateur était disposé en face de la paroi de verre opposée à la face métallique.

Un radioconducteur était enfermé avec son circuit et une sonnerie dans la boîte centrale; la sonnerie se faisait entendre lorsqu'un effet était produit.

L'air et une huile minérale (valvoline) se comportaient de la même façon. L'eau distillée et l'eau de source exerçaient une absorption bien supérieure à celle de l'air et de l'huile.

Sous l'épaisseur de 20^{cm}, une eau salée renfermant 2^{kg} de sel marin pour 185^{l} d'eau distillée exerçait une absorption complète. L'eau de mer, qui contient un poids de sel marin plus de deux fois supérieur, doit donc arrêter complètement les radiations électriques sous une épaisseur notablement inférieure à 20^{cm}.

Le sulfate de zinc, le sulfate de cuivre, le sulfate de soude exerçaient des absorptions comparables à celles du chlorure de sodium.

On s'assurait que la fermeture de la porte métallique était hermétique en plaçant le radiateur en face de cette porte et à une très courte distance, lorsque la cuve contenait une solution qui exerçait une absorption complète.

TÉLÉMÉCANIQUE SANS FIL.

Distribution et contrôle d'actions produites à distance par les ondes électriques (*C. R. Ac. Sc.*, 20 mars 1905). — **Appareil de télémécanique sans fil de ligne** (*C. R. Ac. Sc.*, 26 juin 1905). — **Appareil de sécurité contre les étincelles accidentelles dans les effets de télémécanique sans fil** (*C. R. Ac. Sc.*, 22 octobre 1906). — **Établissement, entre un poste transmetteur et un des postes récepteurs d'une installation de télémécanique sans fil, d'une correspondance exclusive, indépendante de la syntonisation** (*C. R. Ac. Sc.*, 5 novembre 1906). — **Appareil de sécurité contre les étincelles perturbatrices ininterrompues, en télémécanique sans fil** (*C. R. Ac. Sc.*, 20 juillet 1908).

La télégraphie sans fil n'est pas la seule application possible de la conductibilité intermittente des radioconducteurs. La déviation d'un galvanomètre pour la vue d'un signal ou l'attraction du contact d'un électro-aimant pour l'inscription du signal ne sont pas des effets privilégiés et tout autre effet du courant peut être déterminé à distance, à un instant donné, par le jeu d'un radioconducteur. La commande d'effets à distance, sans fil de ligne, constitue la télémécanique sans fil.

Pour un effet commandé qui sera un effet du courant : calorifique, lumineux, magnétique ou, par l'intermédiaire d'électro-aimants, un effet quelconque, les conditions qui conviennent à la propagation des courants oscillatoires de l'étincelle entre le poste transmetteur et le poste récepteur sont les mêmes qu'en télégraphie sans fil.

On peut affirmer, d'une manière générale, que tout appareil qui obéit à un courant par des fils de ligne est susceptible, quel que soit l'agencement de ses organes, de fonctionner par étincelles, sans modification essentielle dans sa construction. Car le passage d'une commande avec fils à la même commande sans fil n'exige qu'un changement de courant. Au courant qui suit les fils de ligne on substitue le courant oscillatoire d'une étincelle pour le parcours de l'espace compris entre les deux postes. Tout se passe comme si ce courant oscillatoire voyageait de l'une à l'autre des antennes des deux postes à travers l'éther qui les sépare. Arrivé à l'antenne réceptrice, le courant oscillatoire se communique au circuit du radioconducteur. Le radioconducteur détermine le déclanchement qui, dans la commande avec fils, était effectué directement par le courant qui parcourait les deux fils de ligne.

Cet aperçu fait comprendre que la télémécanique sans fil est susceptible

d'applications aussi nombreuses que la télémécanique avec fil qui est si répandue.

On peut opérer de diverses façons pour produire un phénomène à distance. Supposons qu'il s'agisse d'un phénomène à plusieurs phases.

Une première méthode se présente : on réalisera à distance une première phase par l'éclatement d'une étincelle du poste transmetteur, cette première phase en provoquera une seconde, soit directement, soit par des électro-aimants, la seconde en suscitera une troisième et ainsi de suite. L'émission d'une étincelle unique suffira ainsi pour entraîner un système complexe par des actions qui se suivent pour ainsi dire en cascade, à des intervalles qui peuvent être réglés par des retardateurs d'exécution.

Il m'a semblé que la division du travail, ou la production indépendante des phases du phénomène par des étincelles spéciales à chaque phase, offrirait plus de sécurité. J'ai voulu que l'opérateur fût renseigné sur le moment précis où il convient de lancer une étincelle pour agir sur un poste qu'il ne voit pas et sur le succès ou l'insuccès de sa commande.

A l'aide de dispositifs appliqués à deux postes que j'ai installés dans mon laboratoire, j'ai essayé de résoudre le problème général de la télémécanique sans fil.

Plusieurs effets ont été préparés à un poste récepteur, chacun avec un circuit particulier possédant la source d'énergie de son courant, de telle sorte qu'il suffit d'un simple déclanchement pour réaliser un effet. L'opérateur du poste transmetteur agit sur le poste récepteur où personne n'est nécessaire, produit les différents effets dans un ordre dont il est le maître, les laisse persister pendant un temps arbitraire et les suspend à volonté.

Postes de télémécanique sans fil.

Le poste récepteur réclame une description détaillée. Son organe principal est un distributeur qui localise l'action d'une étincelle sur un des effets préparés.

Distributeur. — Le distributeur est un axe en acier sur lequel sont centrés et fixés des disques métalliques isolés les uns des autres et de l'axe. Certains de ces disques sont interrupteurs, d'autres sont avertisseurs.

Chacun des disques interrupteurs a pour mission d'ouvrir ou de fermer un circuit. Pour cela, un de ces disques présente sur un secteur de sa circonférence une saillie qui appuie sur une goupille flexible pendant une fraction

de tour de l'axe et livre alors passage à un courant spécial à un effet auquel le disque est affecté.

L'axe distributeur est installé sur la face supérieure d'une cage métallique qui abrite un radioconducteur et son circuit; ce circuit comprend un relais. Actionné à l'occasion d'une étincelle du poste transmetteur, le relais, par le déplacement de sa bobine mobile et le rapprochement des contacts qui en résulte, ferme un circuit de travail qui suit à l'extérieur de la cage divers chemins qui lui sont successivement offerts par les contacts des saillies des disques interrupteurs et des goupilles correspondantes qui émergent légèrement du plafond de la cage.

Chaque circuit de travail comprend les deux contacts du relais, le contact d'un secteur et d'une goupille et l'électro-aimant d'un déclancheur.

Un déclancheur ferme à son tour un circuit qui produit l'effet voulu.

Il y a en définitive trois sortes de circuits : 1° le circuit unique du radioconducteur et de la bobine mobile du relais, complètement intérieur à la cage; 2° les circuits de travail ou circuits des électro-aimants des déclancheurs, ayant, d'une part, une partie commune intérieure qui comprend une pile et les deux contacts du relais et, d'autre part, des parties extérieures distinctes; un de ces circuits est fermé si une étincelle éclate au moment d'un contact secteur-goupille; 3° les circuits fermés par les déclancheurs, entièrement extérieurs et distincts.

Le circuit du radioconducteur est animé par une pile très faible; les circuits de travail par une pile de quelques volts commune à tous les circuits; les courants fermés par les déclancheurs peuvent être intenses.

Un effet particulier ayant été produit, on peut l'arrêter après un ou plusieurs tours de l'axe distributeur, en raison des deux positions opposées que prend alternativement le levier d'un déclancheur. L'arrêt a lieu par une étincelle du poste transmetteur éclatant pendant que le disque interrupteur correspondant à cet effet appuie par son secteur en saillie sur sa goupille.

Dans l'intervalle de temps restreint où, à chaque tour, l'opérateur est maître de provoquer ou de suspendre un effet, aucun autre des effets préparés au poste récepteur ne peut se produire, car les autres circuits de travail sont interrompus, leurs secteurs et leurs goupilles n'étant pas en contact.

Télégraphe automatique avertisseur. — L'opérateur du poste transmetteur est prévenu des temps où il peut agir par des radiotélégrammes qui s'inscrivent sous ses yeux sur une bande à dépêches. Les signaux

émanent d'une bobine d'induction dont le circuit primaire se ferme temporairement et automatiquement au poste récepteur.

Cette télégraphie automatique sans fil se fait par l'intermédiaire d'un disque spécial appelé *disque des temps*. Ce disque est muni sur son pourtour de groupes de dents étroites. Ces groupes sont équidistants, nous en supposerons cinq; le premier n'a qu'une dent, le deuxième en a deux..., le cinquième en a cinq. Les contacts des dents avec un ressort ferment le primaire de la bobine d'induction et font éclater à chaque tour de l'axe cinq groupes d'étincelles. C'est pendant les intervalles de temps qui sont compris entre les groupes d'étincelles et qui correspondent chacun à un déroulement de plusieurs centimètres de la bande à dépêches que l'opérateur appuiera sur son manipulateur pour lancer des étincelles.

Pour fixer les idées, nous choisirons quatre effets à produire : 1° la détonation d'un revolver, localisée dans l'intervalle 1-2, entre l'étincelle simple et l'étincelle double, par la position de la saillie de son disque interrupteur; 2° la mise en mouvement d'un ventilateur, dans l'intervalle 2-3; 3° un allumage de lampes, dans l'intervalle 3-4; 4° l'attraction d'un boulet, dans l'intervalle 4-5.

L'axe distributeur est entraîné par un moteur électrique dont le circuit se ferme par un déclancheur. Son entraînement ou son arrêt est un cinquième effet. C'est le cinquième effet possible pour un disque des temps à cinq groupes de dents; il est possible dans l'intervalle 5-1 par un disque affecté au moteur.

Si, par les signaux du télégraphe automatique, l'opérateur connaît les temps auxquels chaque effet peut être provoqué ou suspendu, il est prévenu des résultats par des signaux spéciaux, dus à des disques de contrôle portés par l'axe distributeur. Un disque de contrôle est adjoint à chaque effet; il est muni de deux larges dents qui ferment, en appuyant contre un ressort, le circuit primaire de la bobine d'induction du télégraphe automatique.

Nous avons vu qu'il n'y avait qu'un radioconducteur au poste récepteur. Les circuits des électro-aimants déclancheurs rayonnent autour du circuit du radioconducteur et du relais. La cage métallique doit mettre le circuit du radioconducteur à l'abri des étincelles d'avertissement du télégraphe automatique.

Au poste transmetteur, le radioconducteur adjoint au Morse qui inscrit les signaux du télégraphe automatique est enfermé dans une cage qui doit le préserver des étincelles que lance l'opérateur.

Rôle alternatif des antennes. — Il y a une antenne à chacun des deux postes. A chaque poste, la même antenne est amenée à remplir deux fonctions distinctes.

Au poste transmetteur, l'antenne est, par le jeu même du manipulateur, antenne d'émission pendant l'éclatement des étincelles, puis elle reste antenne réceptrice pour l'inscripteur Morse.

Au poste récepteur, l'antenne est reliée par un mécanisme spécial à l'exploseur du télégraphe automatique, au moment de ses étincelles, et elle est alors antenne d'émission; elle devient antenne de réception quand les secteurs appuient sur les goupilles. Ce rôle lui est assuré par un disque à cinq secteurs égaux en saillie qui alternent avec des creux.

Ensemble des disques. — Les disques forment deux séries. La *première série* comprend sept disques appuyant par des secteurs en saillie sur des goupilles émergeant légèrement, par de petites ouvertures, du plafond de la cage. Ce sont : 1° le disque de l'antenne, à cinq secteurs égaux, alternant avec des creux; 2° un second disque identique ayant constamment ses secteurs en saillie et ses creux dans les mêmes positions que le disque de l'antenne; à ce disque, que j'appelle *disque commun,* aboutissent les cinq circuits des électro-aimants déclancheurs des quatre effets et du moteur; 3° cinq disques interrupteurs; chacun présente un secteur unique qui a constamment la même position que l'un des secteurs des deux premiers disques. A chacun de ces cinq disques aboutit un des cinq circuits qui se rejoignent au disque commun.

La *seconde série* comprend six disques, sans communication avec l'intérieur de la cage. Ce sont : 1° le disque des temps, avec ses groupes équidistants de dents étroites; un intervalle quelconque, tel que 2-3, correspond à un secteur en saillie et à un vide consécutif du disque de l'antenne et du disque commun et, à cause de cela, se décompose en deux parties : *une première partie,* pendant laquelle le secteur du ventilateur appuie sur sa goupille en même temps qu'un secteur du disque de l'antenne appuie sur sa propre goupille et rend l'antenne réceptrice; *une seconde partie,* quicorrespond au passage d'un vide devant les goupilles aussi bien pour le disque du ventilateur que pour le disque de l'antenne; l'opérateur peut agir pendant la première partie d'un intervalle, il reçoit des signaux pendant la seconde partie; 2° quatre disques de contrôle, offrant chacun deux larges dents situées, l'une avant le début d'un intervalle, tel que 2-3, l'autre à la fin de cet intervalle; au disque des temps, aussi bien qu'à chacun des disques de

contrôle, aboutit un des cinq circuits qui ferment le primaire de la bobine du télégraphe automatique par les contacts des dents et des ressorts; 3° un disque commun auquel se rejoignent les cinq circuits précédents.

Pour éviter l'usure qui résulterait d'étincelles à l'échappement des dents contre les ressorts, les cinq courants des temps et des contrôles sont faibles et actionnent un relais extérieur qui ferme le circuit à fort courant du primaire de la bobine d'induction.

Mise en marche de l'axe distributeur. — Il est indispensable que le moteur qui entraîne l'axe distributeur puisse être mis en marche à tout instant. Ce résultat est obtenu à l'aide d'un électro-aimant vertical fixé, comme l'axe distributeur, sur le dessus de la cage métallique.

A cet effet, le noyau de l'électro-aimant est mobile; il porte à sa partie inférieure un anneau en ébonite qui repose par trois pointes métalliques sur trois goupilles du plafond de la cage; une des goupilles relie le circuit du radio-conducteur à l'antenne. Les deux autres livrent passage au courant de l'électro-aimant du déclancheur du moteur quand le relais intérieur fonctionne à l'occasion d'une étincelle. Dès que le moteur commence à tourner, le courant qui l'entraîne se met à circuler dans la bobine de l'électro-aimant vertical, aspire le noyau et maintient les pointes écartées des goupilles pendant tout le temps de la marche du moteur.

Le moteur n'est susceptible d'être arrêté que dans l'intervalle 5-1.

Fonctionnement général. — A un moment donné, une étincelle éclatant au poste transmetteur, le moteur du poste récepteur se met de lui-même brusquement en marche; par la rotation de l'axe distributeur, les étincelles des temps donnent des signaux également espacés qui s'inscrivent au poste transmetteur sur la bande à dépêches. Si les effets à provoquer sont indépendants, comme ceux que j'ai choisis, et si le premier intervalle qui se présente à l'opérateur est l'intervalle 2-3, on lance une étincelle au commencement de cet intervalle et le ventilateur tourne. Un signal de contrôle est reçu à la fin de l'intervalle 2-3. Dans l'intervalle 3-4, on procède de même à l'allumage des lampes, et ainsi de suite.

Si les effets à effectuer font partie d'un phénomène complexe, comme on connaît les intervalles qui se rapportent à chaque phase du phénomène, on lance les étincelles dans l'ordre qui convient, en ayant soin de ne commander une phase que si la précédente est signalée effectuée par une étincelle de contrôle.

Quand tous les effets ont été réalisés, on peut les laisser persister; on arrête le moteur et l'axe distributeur par une étincelle lancée du poste transmetteur dans l'intervalle spécial affecté à l'arrêt du moteur.

On peut désirer s'assurer, à un moment donné, du bon fonctionnement général. Par une étincelle, on met en marche le moteur et l'axe distributeur. Les signaux des temps s'inscrivent; chacun d'eux est précédé et suivi d'un signal de contrôle qui témoigne de la continuité des effets. On arrête encore le moteur dans l'intervalle habituel.

Enfin, lorsqu'on juge l'arrêt opportun, on agit par des étincelles du poste transmetteur lancées dans les parties des intervalles où les effets ont été provoqués. L'absence des signaux de contrôle prévient graduellement de la cessation des effets. On arrête le moteur par une dernière étincelle.

Chacune des opérations s'effectue par un petit flux d'étincelles au lieu d'une étincelle unique. De petites imperfections de l'appareil sensible aux ondes sont ainsi moins à redouter.

Appareils de sécurité.

Malgré ses perfectionnements, la syntonisation par accord électrique n'apporte pas en télémécanique une garantie suffisante. Un puissant exploseur agira toujours s'il est voisin du poste récepteur; d'ailleurs on peut faire passer l'exploseur, à des intervalles rapprochés, par l'accord spécial au poste visé. Des étincelles de passage peuvent aussi accidentellement vibrer avec la période en usage.

Pour ces raisons, j'ai construit des appareils de protection, indépendants de la syntonisation, remédiant à ses imperfections.

J'ai résolu le problème en deux fois. Je me suis d'abord proposé de préserver de l'action des étincelles accidentelles; ce sont les seules contre lesquelles la télémécanique aura à se défendre si elle est réglementée. Je me suis occupé ensuite des perturbations prolongées.

Perturbations accidentelles.

Une étincelle accidentelle ayant fermé le circuit du radioconducteur et le relais ayant rapproché ses contacts, un effet aura lieu si le circuit de l'électro-aimant d'un déclancheur est alors fermé par un contact secteur-goupille. Pour éviter cette coïncidence, l'électro-aimant du déclancheur est remplacé

dans le circuit que ferment à la fois les contacts du relais et le contact secteur-goupille par un autre électro-aimant qui préside à l'entraînement d'une roue interruptrice ou interrupteur rotatif, et il faut, pour que l'effet soit effectué, que l'interrupteur rotatif ait effectué un tour.

Interrupteur rotatif. — Le déclanchement de l'effet dépend d'une came que la roue entraîne avec elle. Dans la position de départ de la roue, la came est au-dessous de l'une des branches d'un levier déclancheur. Après un tour de la roue, la came arrive au-dessus de la branche du levier au lieu d'être au-dessous comme au début, elle fait basculer le levier et l'effet est réalisé.

Le pourtour de la roue est isolant, sauf sur des touches conductrices très étroites qui ferment le circuit de l'électro-aimant de la roue en réunissant transversalement deux balais flexibles parallèles. Une étincelle éclatant, une touche étant en contact avec les balais dans la position de départ de la roue, le circuit de l'électro-aimant est fermé. Le petit moteur spécial qui entraîne la roue est déclanché et entraîne la roue. Si, au moment où une seconde touche vient à passer sous les balais, une nouvelle étincelle n'éclate pas, le moteur de la roue s'arrête par le jeu d'une goupille, et, par un mécanisme électrique automatique, la roue et la came sont ramenées solidairement à la position de départ.

Quand une seconde étincelle éclate au moment où les balais s'appuient sur la seconde touche, la roue et la came continuent leur rotation.

S'il y a cinq touches et si une étincelle a éclaté à chacun des passages, la came a fait un tour comme la roue et produit le déclanchement. La roue et la came reviennent ensuite automatiquement à la position de départ.

En somme, pour qu'un déclanchement ait lieu pendant le passage du secteur d'un disque sur sa goupille, il faut qu'il n'ait pas manqué d'étincelle à chacune des cinq fermetures successives qu'un tour entier de la roue établit dans le circuit de l'électro-aimant. Dans les conditions de la construction, c'est impossible, s'il s'agit d'étincelles vraiment accidentelles.

L'interrupteur rotatif devient un intermédiaire forcé pour l'opération. On la réalise, dans l'intervalle de temps où elle est possible, en lançant du poste de transmission, avec un exploseur rapide, un jet ininterrompu d'étincelles serrées.

L'emploi de l'interrupteur rotatif a l'inconvénient de ralentir les opérations, puisque le contact du secteur d'un disque avec sa goupille doit être supérieur à la durée de la rotation de la roue.

Les communications ont été établies pour que le même interrupteur rotatif servît pour toutes les opérations; il est alors placé à l'intérieur de la cage métallique.

Correspondance exclusive entre deux postes. — L'interrupteur rotatif permet d'obtenir à volonté une correspondance exclusive entre le poste transmetteur et chacun des postes récepteurs d'une installation de télémécanique sans fil. On arrive à ce résultat en introduisant un élément de concordance entre le poste transmetteur et les différents postes récepteurs, par l'introduction au poste transmetteur d'une roue mobile R′ qui n'entre pas dans la composition même du poste et à laquelle j'ai donné le nom de *roue témoin*.

Le moteur spécial qui entraîne l'interrupteur rotatif R_1 d'un poste doit être assez régulier pour qu'un tour de la roue ait lieu dans un temps à peu près fixe, à 1 seconde près sur 20, par exemple. On peut beaucoup mieux. On dispose au poste transmetteur la roue R′, qui est mise en marche par un moteur à la façon de R_1, par la fermeture d'un électro-aimant. R′ n'a ni touches, ni balais, ni came, ni mécanisme de retour; il s'arrête après un tour par le jeu d'une goupille, et la vitesse de rotation de son moteur est la même que pour R_1 au degré d'approximation indiqué.

Au moment où l'opérateur lance une étincelle en abaissant un manipulateur, le jeu du manipulateur ferme le circuit de l'électro-aimant de R′ et R′ se met à tourner.

L'étincelle met, en même temps, R_1 en marche au poste récepteur.

R_1 et R′ sont partis ensemble et font un tour dans le même temps. Si des rayons de même orientation au repos ont été tracés sur les deux roues, leurs directions se maintiennent parallèles pendant un tour. La roue R′ fait ainsi connaître à l'opérateur les positions successives de R_1, malgré l'éloignement. La coïncidence des orientations cesserait assez vite après un certain nombre de tours; elle est complète pour un tour en partant du repos.

Les roues R_1 devront avoir la même vitesse dans tous les postes. Elles différeront par la distribution des touches du pourtour. Ces distributions sont figurées sur la roue R′.

On conçoit que, suivant qu'on voudra agir sur tel ou tel poste, on lancera du poste transmetteur des flux qui se succéderont conformément à la distribution spéciale à la roue du poste sur lequel on veut agir.

Perturbations prolongées.

L'appareil de sécurité destiné à préserver une opération contre les risques d'étincelles perturbatrices prolongées se compose de solénoïdes de même axe, aspirant des tronçons de fer doux espacés sur une tige non magnétique qui les supporte et glisse dans l'axe commun des solénoïdes.

Description. — Les solénoïdes ont des circuits distincts qui se ferment séparément. Nous les supposerons au nombre de trois; sur deux d'entre eux, b_1 et b_3, le sens du courant fait avancer la tige mobile suivant l'axe; elle recule par l'action de b_2.

La tige mobile peut prendre trois positions, I, II, III : I est le point de départ, III la position d'arrivée pour laquelle a lieu le déclanchement de l'effet voulu, II est une position intermédiaire.

b_1 aspire la tige de I à II, b_3 l'aspire de II à III, b_2 la fait reculer de II ou de III à I.

Un réglage particulier des enroulements et de la position des tronçons de fer doux permet à b_3 d'aspirer la tige mobile de II à III, mais la laisse sans effet si la tige mobile est en I. Par conséquent, b_3 ne pourra agir qu'après b_1 et sera sans action si b_1 n'a pas agi ou si une action de b_2 a été intercalée.

Pour simplifier l'exposé et relier l'usage de l'appareil à l'axe distributeur, je supposerai que les fermetures des trois circuits de b_1, b_2 et b_3 sont des effets réalisables dans les intervalles des signaux des temps du télégraphe automatique. Par exemple, b_1 agira dans l'intervalle 1-2, b_2 dans les intervalles 2-3 et 4-5, b_3 dans l'intervalle 3-4; l'intervalle 5-1 est réservé à l'arrêt du moteur.

Pour éviter des mises en marche fortuites, l'interrupteur rotatif contre les étincelles accidentelles est intercalé dans le circuit qui permet le déclanchement à tout instant du moteur d'entraînement de l'axe distributeur.

Fonctionnement normal. — Le moteur ayant été mis en marche du poste transmetteur avec le flux que l'interrupteur rotatif exige, on lance une étincelle ou quelques étincelles rapprochées dans l'intervalle 1-2; alors b_1 aspire la tige mobile de I à II; on est prévenu du résultat par une étincelle de contrôle. On laisse passer l'intervalle 2-3. Par quelques étincelles

dans l'intervalle 3-4, b_3 aspire la tige de II à III ; une étincelle de contrôle en prévient. Un courant spécial que ferme la tige arrivée en III déclanche l'effet cherché. Le résultat est signalé par une étincelle de contrôle. Dans l'intervalle 4-5, on fait agir b_2 qui repousse la tige de III à I. On arrête le moteur dans l'intervalle 5-1.

Fonctionnement en cas d'étincelles prolongées. — C'est le cas où le moteur d'entraînement de l'axe distributeur est parti sans commande voulue, malgré la protection de l'interrupteur rotatif.

L'opérateur du poste transmetteur est prévenu de la rotation par une sonnerie et par l'inscription des signaux du disque des temps. Un signal de contrôle apprend que la tige mobile a pris la position II; il ne faut pas qu'elle aille à III. Comme l'opérateur ignore si la perturbation persistera dans l'intervalle 2-3, il agit lui-même sur b_2 dans cet intervalle, ce qui ramène la tige en I. Alors, la position III ne peut plus être prise, puisque l'action de b_3 n'est efficace que si la tige est déjà dans la position II.

En résumé, la position du repos est assurée par l'opérateur ou par les étincelles perturbatrices elles-mêmes.

Les perturbations ne pourront ainsi en définitive causer aucun dommage. On devra toutefois attendre qu'elles aient cessé pour faire quelque chose d'utile.

PHYSIQUE BIOLOGIQUE.

Dosage de l'hémoglobine du sang par le spectrophotomètre (*Ann. de Ch. et Phys.*, 1882).

Après avoir passé en revue divers procédés optiques, j'ai préféré la mesure de l'absorption exercée par l'hémoglobine dans les diverses parties du spectre, et spécialement dans la région des deux bandes d'absorption, caractéristiques de l'hémoglobine, comprises entre les raies D et F.

Je me suis demandé s'il n'y avait pas de bandes d'absorption importantes dans la partie ultra-violette du spectre. Recevant le rayonnement d'une lampe à arc sur un prisme et une lentille de quartz, j'ai comparé dans les régions violette et ultra-violette les spectres photographiques obtenus, d'une part à travers l'eau, et d'autre part à travers une solution étendue d'hémoglobine. Les bandes absorbées et les bandes transmises étaient sensiblement les mêmes dans les deux spectres.

Puisque, d'après cela, les parties très réfrangibles du spectre d'absorption de l'hémoglobine n'offrent pas d'intérêt, la lumière électrique pouvait être remplacée par la lumière Drummond; celle-ci est maintenue aisément constante, en réglant les débits d'oxygène et de gaz d'éclairage.

Les spectrophotomètres peuvent être à lumière naturelle ou à lumière polarisée. Je les ai employés successivement.

Spectrophotomètre à lumière naturelle. — Contre une fente verticale éclairée, on applique une auge à deux compartiments séparés par une cloison horizontale. La cloison partage la fente en deux parties de petite hauteur, peu écartées. Un collimateur rend parallèles les faisceaux issus des deux demi-fentes. La fente et le collimateur forment la première partie du spectroscope; la seconde partie comprend un prisme à arête verticale et une lunette.

On voit deux spectres l'un au-dessus de l'autre; ils ont le même éclat si les deux compartiments de l'auge sont remplis par des solutions d'hémoglobine également étendues. Avec des solutions inégalement étendues, les éclats sont différents. Pour comparer les quantités d'hémoglobine des deux solutions, on ramène les éclats des deux spectres à l'égalité, en faisant varier soit l'épaisseur des deux compartiments de l'auge, soit la largeur des deux demi-fentes. C'est dans la région des deux bandes d'absorption et du vert intermédiaire qu'un changement d'éclat correspondant à une petite variation d'hémoglobine dans l'une des solutions s'apprécie le mieux.

L'emploi d'un spectrophotomètre à lumière polarisée est plus sensible.

Spectrophotomètre à lumière polarisée. — Les pièces de polarisation sont intercalées entre les deux parties du spectroscope; ce sont : un prisme biréfringent de Rochon à arête horizontale et un nicol. Par le Rochon, chacun des deux spectres est dédoublé, et l'on a quatre spectres avec leurs bandes d'absorption alignées verticalement. En tournant le nicol, on amène à l'égalité d'éclat l'image extraordinaire d'une demi-fente et l'image ordinaire de l'autre. Cette égalité s'apprécie mieux si les deux spectres à comparer sont *juxtaposés*. On y arrive pour un dédoublement convenable du Rochon.

Il est préférable que le dédoublement du Rochon *superpose* en partie les deux spectres au lieu de les juxtaposer. Quand on a tourné le nicol pour arriver à l'égalité de ces deux spectres, la lumière des parties superposées se comporte comme de la lumière naturelle. On le reconnaît avec un pola-

riscope, qui est ici un quartz parallèle. L'interposition du quartz introduit des cannelures verticales dans les spectres ; les cannelures obscures de l'un des spectres couvrent les cannelures lumineuses de l'autre. Si la plage commune est naturelle, les cannelures n'y sont plus visibles. C'est dans la région des deux bandes d'absorption qu'il faut la plus petite rotation du nicol pour faire succéder l'apparition des cannelures à leur disparition.

Pour faire une mesure, on introduit une solution titrée d'hémoglobine dans l'un des compartiments de l'auge qui est appliquée contre la fente; l'autre compartiment reçoit la solution de sang dont on cherche la teneur en hémoglobine; on tourne le nicol jusqu'à obtenir la disparition des bandes dans la partie commune aux deux spectres.

Il a été souvent commode de remplacer l'auge à deux compartiments par deux cuves prismatiques à angle très aigu et à arête réfringente verticale, disposées l'une au-dessus de l'autre. La solution titrée d'hémoglobine étant versée dans l'une des cuves et la solution étudiée dans l'autre, on fait avancer horizontalement l'une des cuves jusqu'à obtenir la disparition des bandes. J'ai reconnu ainsi qu'une solution d'un sang quelconque pouvait être remplacée par une épaisseur équivalente d'un autre sang et que les bandes disparaissaient à la fois dans toutes les couleurs du spectre.

Ayant fait cette constatation avec du sang humain, des sangs de bœuf, de chien, de cheval, de coq, de carpe, j'en ai conclu l'identité spectrale de la matière colorante du sang chez les divers Vertébrés.

La constatation de cette identité permettait d'évaluer la richesse d'un sang en matière colorante d'après sa comparaison avec une solution titrée d'une hémoglobine quelconque préparée pure. J'ai rapporté mes déterminations à une solution titrée d'hémoglobine de chien.

J'ai effectué un certain nombre de mesures relatives à la durée de conservation du sang, aux variations de l'hémoglobine à la suite des hémorragies, aux variations à la suite d'injection d'eau dans les veines et aux variations dans différents cas pathologiques.

*
* *

Sur l'électrolyse des tissus animaux (*C. R. Ac. Sc.*, 3 juin 1901).

Il s'agit d'une observation qui avait été faite par Apostoli dans sa pratique électrothérapique et que j'avais souvent répétée avec lui. Voici comment il la présentait :

« Deux aiguilles de platine étaient enfoncées perpendiculairement d'environ 1^{cm} dans un bloc de viande fraîche, à une distance l'une de l'autre d'environ 2^{cm}; on faisait passer un courant tel que l'intensité fût de 50 à 80 milliampères. Quand on renversait le courant, l'intensité s'abaissait à quelques milliampères pour remonter à peu près à sa valeur par un retour au premier sens et tomber de nouveau au renversement. La durée des passages du courant dans chaque sens était voisine de 2 minutes. »

J'ai reproduit exactement le même phénomène en plongeant de la même manière les deux aiguilles de platine, en l'absence de tout tissu, dans un électrolyte visqueux, tel qu'une solution de gomme arabique dans l'eau légèrement salée; c'était un liquide très résistant. Par le passage du courant, les deux électrodes se recouvrent d'une gaine mousseuse qui adhère beaucoup plus à l'électrode positive qu'à la négative. Les apparences observées tiennent à ce que l'électrode positive se dégage moins vite de sa gaine que la négative. Pour un faible voltage, on comprend que l'intensité soit peu différente aux deux passages en sens contraires; avec un voltage élevé ou une plus grande durée de passage, la chute est au contraire très forte dans les deux sens. Les conditions expérimentales de l'effet à expliquer étaient intermédiaires.

* * *

Assimilation de la conductibilité nerveuse à la conductibilité électrique des substances discontinues (*C. R. Ac. Sc.*, 27 décembre 1897; *Arch. Élect. méd.*, 15 février 1898).

Dès les premières recherches sur le fonctionnement du système nerveux, on a admis une ressemblance entre la conductibilité nerveuse et la conductibilité électrique; on regardait alors les filets nerveux comme continus. Depuis, des recherches histologiques ont présenté le système nerveux comme formé d'éléments discontinus, appelés *neurones*, n'ayant que des rapports de contiguïté. L'assimilation du système nerveux à un ensemble de conducteurs métalliques n'est plus alors possible; mais n'y a-t-il pas lieu de penser à une analogie avec un conducteur discontinu, un neurone jouant le rôle d'un grain métallique dans un conducteur discontinu?

Cet essai d'assimilation suggère des comparaisons qui offrent de l'intérêt.

Nous voyons un choc affaiblir et même supprimer la conductibilité d'un conducteur discontinu; de même un traumatisme peut déterminer l'anesthésie et la paralysie hystériques, dues à une suppression de la transmission, soit sensitive, soit motrice de l'influx nerveux, peut-être par défaut de contiguïté des terminaisons nerveuses.

Si les décharges électriques établissent la contiguïté des conducteurs

discontinus, ne guérissent-elles pas dans certains cas l'anesthésie et la paralysie hystériques, en établissant la contiguïté des éléments?

Le parallélisme entre les effets du choc et des étincelles sur les radioconducteurs et sur le système nerveux hystérique se poursuit dans la sensibilisation par un premier effet, c'est-à-dire dans la susceptibilité de réagir sous une action faible après qu'une action forte a produit un premier effet.

Les décharges de haute fréquence rendent conducteurs les conducteurs discontinus ; si elles agissent favorablement sur des affections causées par le ralentissement de la nutrition, ne peut-on pas supposer qu'elles rétablissent entre les éléments nerveux une contiguïté devenue insuffisante?

Après avoir fait agir d'abord sur des conducteurs discontinus une pile de grande force électromotrice, il suffit ensuite d'employer une pile moindre pour arriver au même effet ; n'y aurait-il pas lieu de rechercher si, dans les affections nerveuses où les courants continus agissent, leur mode d'action n'est pas analogue?

Ces aperçus ne se rapportent qu'à une analogie d'effets incertaine ; néanmoins, ils sont susceptibles de guider dans la question obscure du choix des modes électriques à employer dans différentes applications de l'électrothérapie.

LISTE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS

PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE.

1869.

Recherches sur le rayonnement solaire (en commun avec M. P. Desains) (*C. R. Ac. Sc.*, 29 novembre 1869).

1872.

Mesure de la polarisation dans l'élément voltaïque (*C. R. Ac. Sc.*, 19 février 1872).

Mesure de l'intensité des courants au moyen de l'électromètre (*C. R. Ac. Sc.*, 12 août 1872).

1873.

Étude des phénomènes électrostatiques dans les piles (*Ann. Éc. Norm. sup.*, 2e série, t. II, 1873, p. 211).

Évaluation, en unités mécaniques, de la quantité d'électricité que produit un élément de pile (*C. R. Ac. Sc.*, 15 décembre 1873).

1882.

Dosage de l'hémoglobine dans le sang par les procédés optiques (*Ann. Ch. et Phys.*, 1882).

1887.

Sur l'emploi du gaz d'éclairage comme source constante dans les expériences de rayonnement (*C. R. Ac. Sc.*, 21 mars 1887).

Nouveau mode d'emploi du thermomultiplicateur (*C. R. Ac. Sc.*, 12 avril 1887).

1890.

Déperdition des deux électricités dans l'éclairement par des radiations très réfrangibles (*C. R. Ac. Sc.*, 8 avril 1890).

Courants photo-électriques entre les deux plateaux d'un condensateur (*C. R. Ac. Sc.*, 28 avril 1890).

Variations de conductibilité sous différentes influences électriques (*C. R. Ac. Sc.*, 24 novembre 1890).

1891.

Variations de conductibilité des substances isolantes (*C. R. Ac. Sc.*, 12 janvier 1891).

Variations de conductibilité sous différentes influences électriques (*Soc. fr. Phys.*, 17 avril 1891; *Bull.*, p. 131 et 135; *Bull. Soc. intern. Élect.*, mai 1891; *Journ. Lum. élect.*, t. XL (p. 301-309, 506-511).

Déperdition des deux électricités par des radiations très réfrangibles (*Soc. fr. Phys.*, 3 juillet 1891; *Bull.*, p. 185).

1892.

Déperdition des deux électricités par des radiations très réfrangibles (*C. R. Ac. Sc.*, 11 janvier 1892).

Nouvelle conductibilité unipolaire des gaz (*C. R. Ac. Sc.*, 4 avril 1892).

Sur la conductibilité d'un gaz compris entre un métal froid et un corps incandescent (*C. R. Ac. Sc.*, 27 juin 1892).

Sur la conductibilité électrique des gaz (*Soc. fr. Phys.*, 20 mai 1892; *Bull.*, p. 212 et 215).

Conductibilité électrique des isolants (*J. Phys.*, 3e série, t. I, novembre 1892).

1893.

Sur la déperdition de l'électricité à la lumière diffuse et à l'obscurité (*C. R. Ac. Sc.*, 10 avril 1892).

Sur la déperdition de l'électricité à la lumière du jour (*Journ. Phys.*, juillet 1893).

1894.

Sur la conductibilité des substances isolantes discontinues (*C. R. Ac. Sc.*, 12 février 1894).

1895.

Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs (*C. R. Ac. Sc.*, 16 avril 1895).

Résistance électrique au contact de deux métaux (*C. R. Ac. Sc.*, 22 avril 1895).

Emploi des tubes à limaille dans l'étude des interférences électriques (*J. Phys.*, 3e série, t. IV, juin 1895).

1896.

Résistance des lames métalliques minces (*C. R. Ac. Sc.*, 3 février 1896).

Résistance électrique au contact de deux métaux (*Bull. Soc. intern. Élect.*, 1er avril 1896; t. XIII, p. 124-139).

Sur la propriété de décharger les corps électrisés, produite dans les gaz par les corps incandescents et par les étincelles électriques (*C. R. Ac. Sc.*, 26 octobre 1896).

1897.

Sur la conductibilité électrique des substances conductrices discontinues, à propos de la télégraphie sans fil (*C. R. Ac. Sc.*, 6 décembre 1897).

Conductibilité des radioconducteurs ou conductibilité électrique discontinue. Assimilation à la conductibilité nerveuse (*C. R. Ac. Sc.*, 27 décembre 1897).

1898.

Remarques sur l'historique de la télégraphie sans fil (*Bull. Soc. intern. Élect.*, 2 février 1898).

Une enveloppe métallique ne se laisse pas traverser par les radiations hertziennes (*C. R. Ac. Sc.*, 4 juillet 1898).

Télégraphie sans fil et collisions en mer (*C. R. Ac. Sc.*, 18 juillet 1898).

Résistance électrique au contact de deux disques d'un même métal (*C. R. Ac. Sc.*, 25 juillet 1898).

Radioconducteurs à limailles d'or et de platine (*C. R. Ac. Sc.*, 26 décembre 1898).

Assimilation de la conductibilité nerveuse à la conductibilité électrique discontinue (*Arch. Élect. méd.*, 15 février 1898).

1899.

Résistance électrique au contact de deux disques d'un même métal (*J. Phys.*, janvier 1899).

Une enveloppe métallique ne se laisse pas traverser par les radiations hertziennes (*J. Phys.*, janvier 1899).

Sur l'absorption des ondes hertziennes par des corps non métalliques (en commun avec M. Gustave Le Bon) (*C. R. Ac. Sc.*, 4 avril 1899).

Radioconducteurs à billes métalliques (*C. R. Ac. Sc.*, 1er mai 1899).

Absorption des radiations hertziennes par les liquides (*C. R. Ac. Sc.*, 30 octobre 1899).

1900.

Accroissements de résistance des radioconducteurs (*C. R. Ac. Sc.*, 17 avril 1900).

Rapport sur les radioconducteurs, présenté au Congrès international de Physique en 1900.

1901.

Sur l'électrolyse des tissus animaux (*C. R. Ac. Sc.*, 3 juin 1901).

1902.

Réclamation de priorité, à propos du tube à limaille (*C. R. Ac. Sc.*, 13 janvier 1902).

Radioconducteurs à contact unique (*C. R. Ac. Sc.*, 10 février 1902).

Récepteur de télégraphie sans fil (*C. R. Ac. Sc.*, 26 mai 1902).

1905.

Distribution et contrôle d'actions produites à distance par les ondes électriques (*C. R. Ac. Sc.*, 20 mars 1905).

Appareil de télémécanique sans fils de ligne (*C. R. Ac. Sc.*, 26 juin 1905).

1906.

Appareil de sécurité contre les étincelles accidentelles (*C. R. Ac. Sc.*, 22 octobre 1906).

Établissement, entre un poste transmetteur et un des postes récepteurs d'une installation de télémécanique sans fil, d'une correspondance exclusive, indépendante de la syntonisation (*C. R. Ac. Sc.*, 5 novembre 1906).

1908.

Accroissements de sensibilité des révélateurs électrolytiques sous diverses influences (*C. R. Ac. Sc.*, 9 mars 1908).

Radioconducteurs à pointes de tellure et tellurures sur acier poli (*C. R. Ac. Sc.*, 13 juillet 1908 et 3 août 1908).

Appareil de sécurité contre des étincelles perturbatrices ininterrompues, en télémécanique sans fil (*C. R. Ac. Sc.*, 20 juillet 1908).

TABLE DES MATIÈRES.

42325 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55.



